CENTRE
DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(CRT)
CENTRE
FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

C.P. 6128, SUCCURSALE A
MONTRÉAL (QUÉBEC)
CANADA
H3C 3J7

TÉLÉPHONE : (514) 343-7575
TÉLEX : 05-24146 BIBPOLYTEC
TÉLÉCOPIEUR (FAX) : (514) 343-7121

CRT-663

ÉTABLISSEMENT DES ROUTES ET HORAIRES RÉGULIERS DANS LES ENTREPRISES DE TRANSPORT ROUTIER DES MARCHANDISES

par

Alain Blanchette

Mémoire dirigé par Teodor G. Crainic et Jacques Roy et présenté à l'Université du Québec à Montréal comme exigence partielle de la maîtrise en Administration des Affaires.

Centre de recherche sur les transports - Publication #663

Décembre 1989

90-01614/

Dépôt légal - 4e trimestre 1989

RÉSUMÉ

La planification de routes et horaires pose de sérieux problèmes aux entreprises de transport routier des marchandises et relativement peu de recherches, à notre connaissance, ont été menées dans ce domaine.

L'objectif spécifique de ce mémoire est de présenter une méthode de planification pour les routes et horaires des chauffeurs de camion dans les entreprises de transport routier des marchandises en charges partielles (lots brisés).

Nous utilisons les données déjà fournies par le plan tactique d'opération, telles que les fréquences de départ des remorques et les itinéraires de la marchandise, pour déterminer les routes qui devraient être couvertes de façon régulière par les entreprises de transport. Ces routes sont dites régulières puisqu'elles couvrent la partie stable de la demande que le transporteur est assuré d'avoir chaque année, soit environ 80% de la demande totale de transport de l'entreprise.

La méthode présentée ici fait appel à des techniques de recouvrement d'ensembles semblables à celles utilisées dans le domaine du transport aérien pour le problème des horaires d'équipages d'avions. Les similitudes qui existent entre ces deux problèmes sont d'ailleurs exposées plus en détail dans ce mémoire.

La méthodologie de recherche utilisée comporte essentiellement les étapes suivantes:

1) Consultation auprès d'entreprises pour l'analyse du problème.

2) Cueillette de données.

3) Expérimentation de la méthode proposée d'établissement des routes et horaires réguliers.

4) Analyse des résultats.

L'analyse des résultats obtenus suite à l'expérimentation de la méthode démontre bien

l'efficacité et l'utilité d'un outil de ce genre pour les entreprises de transport dans le contexte économique et politique actuel et à venir.

La diminution des coûts totaux, notamment par la diminution des heures non-productives, de même que l'assurance du respect des contraintes gouvernementales et syndicales font de cette méthode un outil utile et profitable pour les entreprises de transport routier concernées par le problème d'établissement des routes et horaires réguliers.

Mots-clés : transport de marchandises, camionnage de charges partielles, établissement de routes et horaires.

TABLE DES MATIÈRES

PAGE

RÉSUMÉ..... ii

TABLE DES MATIÈRES..... iv

LISTE DES TABLEAUX.....vii

LISTE DES FIGURES.....viii

INTRODUCTION..... 1

CHAPITRE 1: L'INDUSTRIE DU TRANSPORT ROUTIER ET SES PARTICULARITÉS..... 9

1.1 L'industrie du camionnage..... 9

1.2 Quelques particularités des entreprises de services..... 11

1.2.1 Les prévisions et le processus de planification..... 14

CHAPITRE 2: LE PROBLÈME D'ÉTABLISSEMENT DES ROUTES RÉGULIÈRES..... 24

2.1 La démarche..... 25

2.2 La problématique..... 27

2.2.1 Définition du problème..... 29

2.3 Efficience du choix des routes..... 36

CHAPITRE 3: REVUE DE LITTÉRATURE..... 42

3.1 Catégories et types d'horaires..... 43

3.2 Mise en situation: le domaine aérien.... 47

3.3 Le problème de recouvrement d'ensemble... 51

3.3.1 L'algorithme de Rubin..... 53
3.3.2 L'Algorithme de Baker, Bodin et Fisher..... 55
3.3.3 L'approche de Lavoie..... 56
3.3.4 L'approche de Crainic et Rousseau 60

3.4 Conclusions..... 64

CHAPITRE 4: LA MÉTHODE D'ÉTABLISSEMENT DES ROUTES RÉGULIÈRES..... 66

4.1 Définitions..... 68

4.2 Les contraintes d'élaboration des routes. 70

4.2.1 La réglementation gouvernementale..... 71
4.2.2 Les contraintes syndicales..... 74
4.2.3 Résumé des contraintes.....75

4.3 Activité 1: génération des segments..... 77

4.4 Activité 2: génération de «bonnes» routes..... 79

4.5 Activité 3: optimisation du choix des routes..... 81

CHAPITRE 5: EXPÉRIMENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS..... 87

5.1 Décomposition des bids réels en méta-segments..... 88

5.1.1 Bids initiaux..... 88

5.2 Premier essai..... 97

5.2.1 Résultats du premier essai..... 102
5.2.2 L'optimisation des routes du premier essai..... 104
5.2.3 Les coûts des routes du premier essai..... 106
5.2.4 Le balancement des routes par base 109

5.3 Conclusions du premier essai..... 113

5.4 Deuxième essai..... 114

5.5 Résultats du deuxième essai..... 118

5.5.1 Les coûts des routes du deuxième essai..... 120
5.5.2 Balancement des routes par base... 124

5.6 Conclusions de l'expérimentation..... 131

CONCLUSION..... 133

REMERCIEMENTS..... 138

BIBLIOGRAPHIE..... 140

APPENDICE A: Affectation des routes..... 144

LISTE DES TABLEAUX

		Page
I	Transporteurs routiers canadiens pour compte d'autrui: Indicateurs de 1981 à 1985.....	2
II	Statistiques obtenues par la décomposition des bids initiaux.....	95
III	Fréquence des méta-segments pour une semaine.....	99
IV	Segments et routes du premier essai.....	103
V	Coûts des routes optimisées du premier essai.....	107
VI	Nombre de départs et de chauffeurs par base pour le premier essai.....	110
VII	Segments et routes du deuxième essai.....	119
VIII	Coûts des routes optimisées des deux essais.....	121
IX	Coûts réajustés des deux essais.....	123
X	Nombre de départs et de chauffeurs par base pour le deuxième essai.....	125
XI	Nombre de départs et de chauffeurs par base pour les deux essais.....	126
XII	Nombre de chauffeurs requis réajusté.....	130

LISTE DES FIGURES

		Page
1.1	Le processus de planification.....	19
1.2	Les niveaux de décisions.....	21
2.1	Diagramme du processus d'établissement des routes régulières.....	31
2.2	Diagramme de l'éclatement du module de planification tactique.....	34
4.1	Éclatement du module d'établissement des routes régulières.....	78

INTRODUCTION

L'industrie du transport routier des marchandises occupe une place importante dans l'économie canadienne. Plus de 65% des marchandises exportées et 70% des marchandises importées entre le Canada et les États-Unis sont transportées par camion (Transport Canada, 1987).

La croissance de l'industrie du transport routier fut plutôt constante jusqu'au milieu des années 1980. Ainsi, en ce qui concerne les transporteurs publics pour compte d'autrui, Transport Canada (1987) indique que le nombre de transporteurs est passé de 4142 en 1981 à 5826 en 1985 alors que les recettes d'exploitation totales perçues par l'Industrie du camionnage pour compte d'autrui sont passées de 5,7 milliards en 1981 à 7,8 milliards en 1985 comme le démontre le Tableau I.

Les statistiques sur le nombre d'employés, qui était de 90,681 en 1981 contre 90,172 en 1985, et les recettes d'exploitation par transporteur passées de 1,4 millions en 1981 à 1,3 millions en 1985, témoignent de la constance de cette industrie dans le contexte économique canadien.

TABLEAU I

TRANSPORTEURS ROUTIERS CANADIENS POUR COMPTE D'AUTRUI
INDICATEURS DE 1981 à 1985

RÉGION: Canada
SEGMENT: Toutes marchandises

INDICATEURS	1981	1982	1983	1984	1985
1- Nombre de transporteurs	4 142	4 535	4 205	4 805	5 826
2- Recettes d'exploitation totales ($ '000 000)	5 679	5 577	5 748	6 739	7 796
3- Nombre d'employés	90 681	83 834	80 490	83 675	90 172
4- Recettes d'exploitation par transporteur ($ '000)	1 391	1 230	1 367	1 402	1 338

Source: Transport Canada 1987
Profil statistique de l'Industrie du Camionnage au Canada 1985 (p.135)

En cette période de libre-échange, d'acquisitions et de fusions, qui laisse présager une concentration des entreprises et des bouleversements dans les opérations de transport, l'étude du processus de gestion dans les entreprises de transport routier des marchandises prend plus d'importance.

D'autant plus que ces dernières années les membres de l'industrie et les gouvernements, au cours de rencontres de consultation (Ministère des Transports du Québec, 1982 et 1984), en sont venus à la conclusion qu'il fallait améliorer la productivité et la qualité des services offerts.

La collaboration à des projets de recherche par les entreprises, l'industrie, les divers paliers de gouvernements et les universités et centres de recherche était donc souhaitée, et possible, dans le contexte canadien et québécois d'évolution de l'industrie du transport routier des marchandises. Ce désir de collaboration est en partie responsable de l'élaboration de ce mémoire.

Le problème spécifique qui fait l'objet de ce mémoire est celui de l'établissement des routes et horaires réguliers que les entreprises de camionnage sont appelées à couvrir pour une période de planification donnée.

Il s'agit en fait de déterminer un ensemble de routes à effectuer par des chauffeurs qui assurent la partie sûre des fréquences de services prévues dans le plan de transport. Cette partie sûre, qui comprend environ 80% des fréquences, correspond à la demande de transport que la compagnie est assurée d'avoir annuellement.

L'ensemble des routes devrait être optimal par rapport aux coûts d'opération et réalisable par rapport aux spécifications des contrats de travail (convention collective), aux méthodes d'opérations et aux contraintes de la réglementation.

La méthode que nous avons utilisée pour les fins de ce mémoire fait partie d'un projet global (Delorme, Carinic, Roy, 1986), dont l'objectif principal est d'améliorer l'efficacité de l'industrie du transport routier des marchandises.

Cet objectif devrait être atteint par la création d'outils simples et efficaces de planification des opérations et par leur intégration dans des entreprises de camionnage du Québec. Ces outils font appel à des techniques et modèles de recherche opérationnelle pour la partie méthodologique, à des procédures informatiques de traitement de l'information et à des interfaces graphiques, tant pour la représentation des données et résultats que pour l'intégration des gestionnaires au processus de traitement, d'optimisation et d'analyse de scénarios. Ces outils devraient faciliter l'analyse et la résolution de plusieurs problèmes à long terme autant qu'à court terme.

Le fait de permettre aux gestionnaires de générer, d'analyser et d'évaluer aisément et efficacement un plus grand nombre de stratégies d'opération et de développement devrait entraîner de meilleurs résultats pour les entreprises de transport. On peut notamment penser à l'amélioration de la qualité globale du plan de transport et à une plus grande satisfaction des exigences de la clientèle actuelle et potentielle.

C'est donc de ce projet global, que provient la méthode présentée dans ce mémoire et qui nous sert à traiter le problème de l'établissement des routes et horaires réguliers.

Le «choix» de cette méthode repose sur le fait, qu'en plus d'être disponible et scientifiquement correcte, sa méthodologie permettait une implantation rapide et bien adaptée à nos besoins et à ceux des entreprises québécoises. Toutes ces raisons avaient aussi pour effet de répondre aux contraintes de ressources et de temps limités auxquelles nous faisions face.

Voyons maintenant de façon détaillée le contenu de ce mémoire. Tout d'abord le chapitre 1 fait un bref survol de l'industrie du transport routier des marchandises et de ses particularités. On y fait la distinction entre transporteur privé et transporteur public pour compte d'autrui.

On y décrit également les particularités propres au secteur des services afin de mettre en évidence l'importance des prévisions et du processus de planification dans la gestion des opérations de transport.

Le chapitre 2 définit les composantes d'une entreprise de transport routier de marchandises en charges partielles (LTL) reliées à notre probématique qui est elle-même exposée en détails dans la seconde partie du chapitre.

Le chapitre 3 débute avec une brève exposition des différents types d'horaires parmi lesquels se trouvent les horaires d'équipages d'avion qui présentent des similitudes au problème qui nous intéresse dans le domaine routier. Une mise en situation du domaine aérien précède la description de quelques modèles de résolution d'horaires d'équipages d'avion s'inspirant de techniques semblables à celles utilisées pour résoudre notre problème.

C'est au chapitre 4 qu'est décrite notre méthode d'établissement des routes et horaires. En plus des différentes activités de la méthode utilisée on y énonce les contraintes légales et syndicales que l'on doit respecter dans l'élaboration de ces routes et horaires.

Le chapitre 5 fait état de l'expérimentation de la méthode proposée et des résultats obtenus. Deux essais, effectués à partir des données réelles d'une entreprise de camionnage québécoise, démontrent la capacité de notre méthode à réduire les coûts totaux et à accroître l'utilisation des heures productives disponibles. Des sections d'analyse des résultats dégagent les caractéristiques principales des routes qui composent notre solution au problème d'établissement des routes et horaires réguliers.

Finalement, nous concluons ce mémoire en démontrant l'utilité de l'outil de planification présenté dans la perspective d'un système global d'aide à la prise de décision destiné aux gestionnaires d'entreprises de transport routier des marchandises.

CHAPITRE 1

L'INDUSTRIE DU TRANSPORT ROUTIER ET SES PARTICULARITÉS

Ce chapitre définit le segment du transport routier des marchandises en charges partielles (lots brisés), qui est celui qui nous intéresse plus particulièrement.

On y décrit l'importance du processus de planification pour les entreprises de transport en tant qu'entreprises de services. Le rôle des prévisions de la demande est abordé dans le cadre de ce processus afin de démontrer leur importance aux trois niveaux de décision stratégique, tactique et opérationnelle. Ces décisions correspondent en fait à la planification à long, moyen et court terme.

1.1 L'industrie du camionnage

On définit l'industrie du camionnage comme l'ensemble des activités exercées par les transporteurs publics, privés et les intermédiaires.

Le transport privé est composé d'un ensemble de firmes qui effectuent le transport de leurs propres marchandises mais dont l'activité principale n'est pas le transport. Ces transporteurs privés ne peuvent transporter de la marchandise autre que la leur.

Les intermédiaires, quant à eux, sont composés de courtiers et de transitaires, dont le rôle est essentiellement de servir de liens entre les transporteurs et leurs clients ou de consolider et regrouper la marchandise (ex: petits colis) pour les transporteurs publics.

Les transporteurs publics pour compte d'autrui sont ceux auxquels font appel les entreprises, organismes et particuliers pour le transport de leurs marchandises. Un segment du transport public, celui des charges partielles (lots brisés), nous intéresse particulièrement dans le cadre de ce mémoire.

Par opposition aux charges complètes, on entend par charges partielles des lots de marchandises trop petits pour remplir une remorque et que l'on doit regrouper avec d'autres lots dont l'origine et/ou la

destination sont différentes. Statistique Canada considère comme charge partielle toute expédition dont le poids est inférieur à 10,000 kg.

A titre indicatif, ce type de transport représente au Québec la moitié des recettes de l'ensemble de l'industrie. Selon Bigras (1988) ce segment accaparait en 1984, 50,3% des recettes, 84% des livraisons, 20,7% des tonnes-kilomètres et 12,8% du tonnage total de l'industrie du camionnage.

On constate donc l'importance du transport en charges partielles dans l'industrie du transport routier des marchandises. Examinons maintenant quelques particularités de cette industrie et des entreprises qui la composent.

1.2 Quelques particularités des entreprises de services

Dans le contexte actuel (fin des années '80) au Québec, au Canada et même aux États-Unis, on remarque que des facteurs tels que la concurrence, la réglementation, et le libre-échange ont des effets

non-négligeables sur la structure même de l'industrie du transport routier des marchandises.

Que ce soit au niveau des fusions et acquisitions (facteurs de concentration) ou à celui des services offerts par les entreprises de transport routier des marchandises, on se rend compte que pour demeurer compétitives ces entreprises doivent profiter de tous les «avantages» qui s'offrent à elles.

Mises à part leurs particularités respectives au niveau des services offerts, délais, types d'équipements, méthodes d'opération et autres facteurs qui affectent le choix particulier d'un transporteur, les entreprises de transport ont toutes à faire face à un problème commun: l'impossibilité d'établir des stocks.

Contrairement au secteur manufacturier, les entreprises de transport ne produisent pas de biens tangibles mais plutôt des services. La conséquence directe de cet état de fait est l'impossibilité pour ces entreprises de stocker et d'accumuler de tels biens intangibles ou services.

Il est donc impossible pour une entreprise de transport de se fabriquer des réserves en prévision de l'accroissement de la demande. Cette demande de transport des marchandises varie en fonction de l'activité économique, du prix et de la qualité des services du transporteur routier et des autres modes de transport (rail, aérien), mais aussi selon la période de l'année.

La demande est effectivement plus forte le printemps et l'automne dû à la saisonnalité de la production et de la consommation des produits transportés. Cette saisonnalité de la demande oblige donc les entreprises de transport à planifier à l'avance des moyens de modifier la capacité de leur système de transport. Ceci notamment par des variations des fréquences de services et des modifications d'itinéraires (Roy 1984).

Cette différence majeure entre les entreprises de services et celles du secteur manufacturier, rend d'autant plus importante la nécessité d'effectuer le processus de prévisions et de planification qui

permettra à l'entreprise d'avoir un certain contrôle sur l'incertitude que représente l'avenir.

Regardons de plus près ce processus de planification dans la perspective d'une entreprise de transport routier des marchandises.

1.2.1 Les prévisions et le processus de planification

La fonction principale de la planification consiste à faire des choix, à prendre des décisions qui permettront à l'entreprise de tirer le meilleur avantage de la situation qui sera sienne dans un avenir plus ou moins rapproché.

Mais puisque l'avenir est synonyme d'incertitude et d'inconnu, il est important pour l'entreprise d'évaluer ce que sera cet avenir.

Les prévisions jouent donc un rôle de premier plan dans le processus de planification de l'entreprise de transport. En effet, pour pouvoir planifier on doit connaître à l'avance la demande qui influencera les activités liées aux opérations de transport, d'où l'importance des prévisions.

Il faut se rappeler que les entreprises de transport font face à une forte concurrence. Ceci renforce l'importance des prévisions puisqu'en cas de mauvaise évaluation de la demande, le risque est très élevé de perdre des clients. Ceux-ci ont en effet plusieurs possibilités quant au choix du mode de transport (rail, route, ...), du type de transport (public, courtier, location) et du transporteur lui-même.

Lorsqu'on s'informe auprès d'entreprises de transport, les prévisions semblent souvent être établies à partir de l'expérience passée des membres des différents services (opérations, marketing, finance) et des commandes déjà en main au moment de l'établissement de ces prévisions. Mais en y regardant de plus près on peut voir que les prévisions doivent tenir compte de plusieurs autres facteurs d'influence pour l'entreprise.

Les informations qui suivent sont parmi les plus pertinentes:

1) La demande antérieure qui provient des activités des années précédentes;

2) Les commandes en main;

3) Les informations relatives à l'environnement externe de l'entreprise dont les influences:

   - Politiques (réglementation, déréglementation);

   - Économiques (conjoncture, évolution, indices);

   - Sociales (pressions diverses);

   - Technologiques (innovations);

   - Écologiques (facteurs géographiques);

4) La concurrence intramodale des entreprises qui offrent le même mode de transport pour un même marché;

5) La concurrence intermodale des entreprises qui offrent des modes de transport différents pour le même marché;

6) Les perspectives et prévisions des entreprises et industries environnantes à qui on fournit nos services (amont et aval) et;

7) Les informations sur l'environnement interne qui proviennent des diverses fonctions de l'entreprise (expérience des membres), quant aux objectifs, perspectives, capacités et disponibilités en:

- Main-d'oeuvre (ex: chauffeurs);
- Équipement (ex: camions);
- Immobilisations (ex: terminus);
- Liquidité (fonds, budgets);

La cueillette de ces informations et la recherche de nouvelles données permettent aux gestionnaires d'avoir une meilleure image de l'avenir possible de l'entreprise.

A l'aide de ces prévisions qui découlent d'une meilleure connaissance et compréhension des tendances des marchés, il est possible d'assurer une planification de qualité et des décisions conformes aux buts et

objectifs de l'entreprise.

Une fois les prévisions établies (plan de prévisions à long terme, à moyen terme et à court terme) il s'agit de passer à l'étape de la planification.

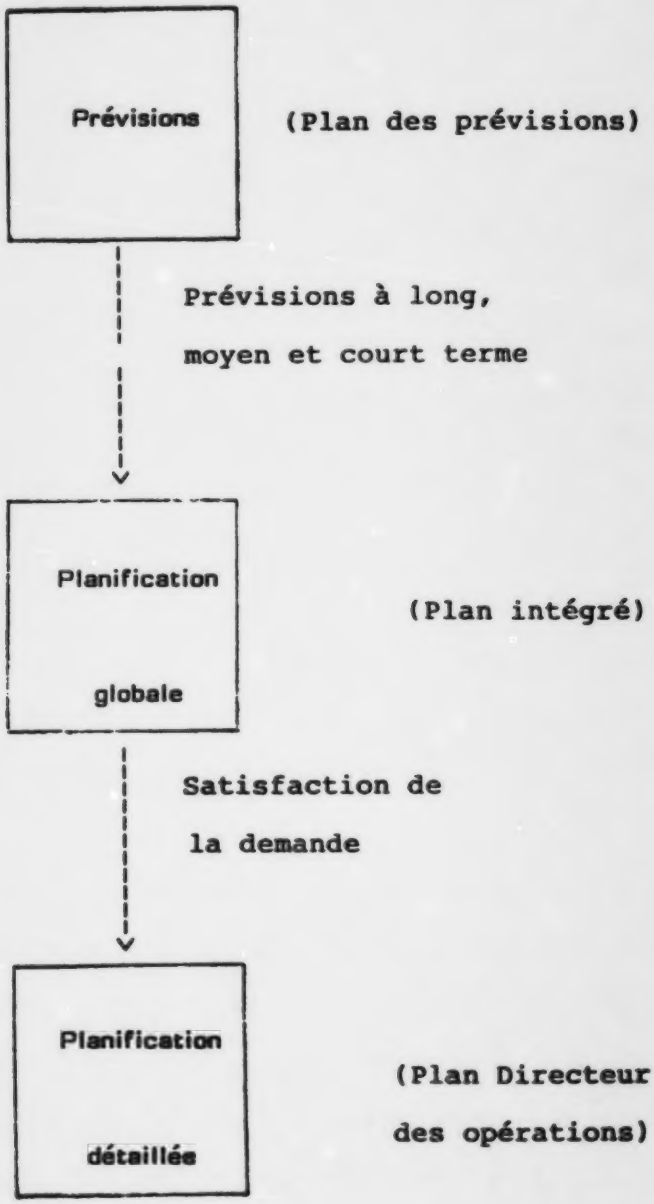
Celle-ci est établie à deux niveaux, un premier niveau général qu'on définit sous le vocable de planification globale par rapport au deuxième niveau dit opérationnel ou planification détaillée. (Figure 1.1).

La planification détaillée dont l'extrant principal est le plan maître ou plan directeur des opérations, sert à rendre opérationnel le plan intégré qui est lui, l'extrant de la planification globale.

L'objectif premier de la planification globale est de trouver des moyens de satisfaire la demande des marchés telle qu'elle est décrite dans le plan des prévisions.

Il s'agit de s'assurer que les capacités d'opérations de l'entreprise satisferont à la demande

FIGURE 1.1
Le processus de planification



et ce, dans les délais prévus et requis. Si tel n'est pas le cas on devra faire appel à un ou plusieurs éléments ayant un effet sur les capacités du système. On pense alors à des variations (augmentations) des effectifs et des équipements, aux heures supplémentaires ou encore au recours à la sous-traitance.

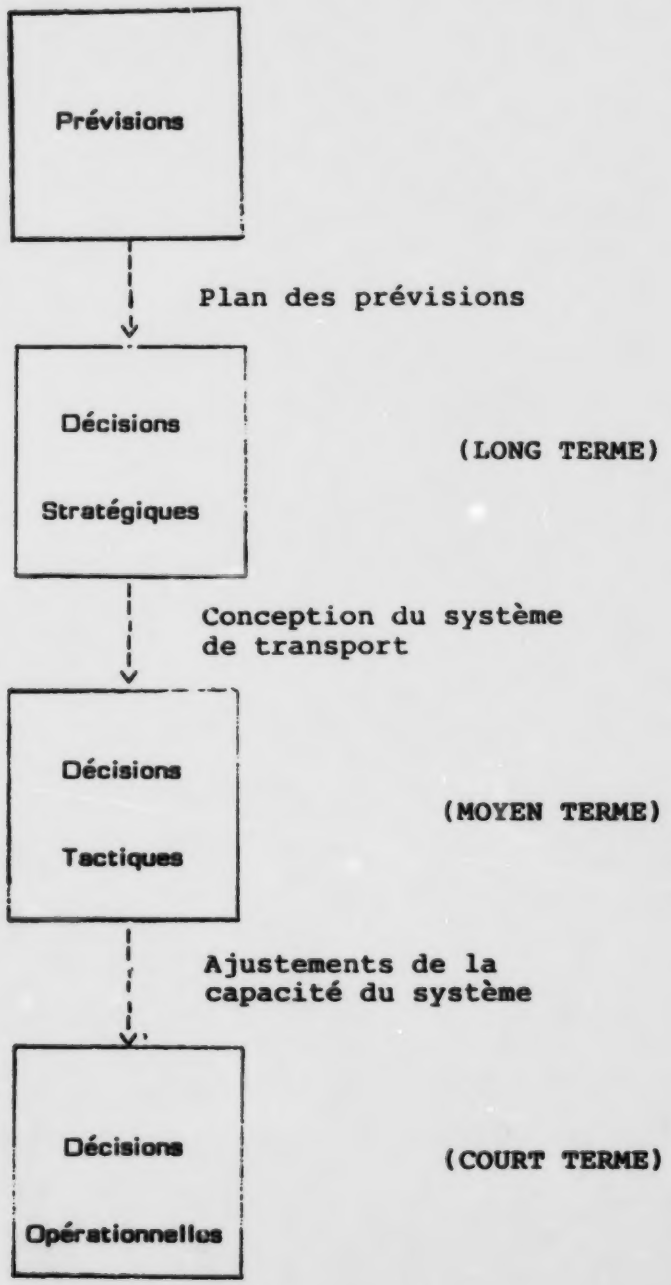
Il est important de bien comprendre que dans ce processus de planification on retrouve plusieurs niveaux de prise de décisions selon qu'elles découlent de planification à long terme, à moyen terme ou à court terme.

Tel que décrit dans Roy (1984), on peut alors parler de planification stratégique, tactique et opérationnelle. (Figure 1.2).

Le niveau stratégique implique des décisions qui ont une portée à long terme (3 à 5 ans). Sous le contrôle de la haute direction de l'entreprise ces décisions concernent souvent l'ensemble des activités de l'entreprise et affectent ainsi l'ensemble des fonctions de cette dernière.

FIGURE 1.2

Les niveaux de décisions



Roy (1984) cite les décisions reliées à la conception du système de transport dont le choix:

1° Du type de marchandises transportées;

2° Des territoires desservis;

3° Des niveaux de services offerts à la clientèle ainsi que;

4° De la configuration du réseau de terminus requis;

Le niveau tactique lui, implique plutôt des décisions à moyen et court terme (1 à 3 ans) qui reflètent et respectent la planification à long terme de niveau stratégique. C'est au niveau tactique qu'on décide du type et du nombre de véhicules requis pour satisfaire la demande et qu'on détermine les intervalles d'entretien des véhicules (Couillard, 1987).

C'est aussi à ce niveau que sont prises les décisions d'ajustement de la capacité d'opérations, en fonction des prévisions de la demande, tel que décrit un peu plut tôt dans le paragraphe portant sur la

planification globale. Aux heures supplémentaires, variations d'effectifs et appel à la sous-traitance on peut décider d'ajouter l'établissement d'itinéraires différents et la modification des plans de fréquence.

Les décisions prises au niveau tactique influencent directement celles qu'on prend au niveau opérationnel. Ces dernières couvrent un horizon à très court terme parfois même en temps réel. La répartition des routes aux chauffeurs et l'affectation des équipements (ex: matériel roulant, camions, remorques) par les répartiteurs (dispatching) sont des décisions de ce type.

Comme on peut le voir les entreprises de transport se doivent d'établir des prévisions et d'assurer une planification de leurs opérations à plusieurs niveaux, que ce soit de façon globale ou détaillée, en fonction de l'horizon temporel à plus ou moins long terme.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes attardés à un type de décisions qui se situent au niveau tactique de planification et de prévisions. Le problème correspondant est présenté au chapitre suivant.

CHAPITRE 2

LE PROBLÈME D'ÉTABLISSEMENT DES ROUTES RÉGULIÈRES

Ce chapitre définit le problème de l'établissement des routes régulières qui consiste à élaborer et choisir un ensemble de routes à effectuer par des chauffeurs pour couvrir la partie régulière de la demande.

L'ensemble de routes devrait être optimal par rapport aux coûts d'opération et aux critères de qualité du service en plus d'être réalisable en regard des spécifications de la convention collective, des contraintes de transport et de la réglementation gouvernementale en vigueur.

Nous verrons d'abord la démarche qui nous a permis de prendre connaissance des composantes de ce problème et du contexte dans lequel on le retrouve. Nous procédons par la suite à la définition du problème à partir des données recueillies dans la littérature et les entreprises concernées.

2.1 La démarche

Le problème de l'établissement des routes régulières tel que défini dans ce chapitre provient à la fois de références bibliographiques et de rencontres avec des membres d'entreprises de transport québécoises.

La littérature existante sur certains aspects des activités des entreprises de transport a permis d'établir une toile de fond au problème. Ce sont toutefois des rencontres avec les gens de l'industrie qui ont assuré une définition factuelle du problème.

Des entrevues avec des cadres tels que le Directeur des Opérations de longue distance, ont permis de bien comprendre et d'analyser le contexte général et particulier dans lequel on retrouve la problématique dont il est ici question. Il a été possible ainsi de passer en revue le processus de prévisions et planification et plus particulièrement les facteurs décrits aux figures 2.1 et 2.2. Ces entrevues ont été une source d'informations (orales et écrites) importante et dont la qualité ne fait aucun doute.

A ces entrevues se sont ajoutées des séances d'observations et de discussions avec les coordinateurs des opérations et les répartiteurs dans le cadre de leurs activités quotidiennes au sein de l'entreprise de transport.

Ces observations et discussions ont permis de voir le problème sous l'angle de la gestion opérationnelle et en temps réel.

L'étape subséquente (et logique) fut d'effectuer le trajet d'une de ces routes qui font l'objet de ce mémoire avec un routier ayant à son actif plus de 25 ans d'expérience dans le transport des marchandises, et qui fut chef syndical pendant près de 10 ans.

En plus de voir les divers aspects de la situation sous des angles différents (employé syndiqué ayant à effectuer quotidiennement les trajets ou routes déterminées), ce «voyage» a permis de noter les activités associées et nécessaires à une telle route. Ces données (préparation, pauses, attentes...) nous seront fort utiles comme nous le verrons plus loin.

2.2 La problématique

Il est plus aisé de définir le problème si nous décrivons d'abord ses diverses composantes.

Établissons d'abord qu'un marché est défini par une paire de terminus d'origine et de destination et que la demande d'un tel marché s'exprime par la quantité de marchandises à transporter d'un terminus d'origine à un terminus de destination pour une période de temps donnée.

Les terminus sont des points géographiques où des opérations peuvent être effectuées et où un service peut débuter ou finir (y originer ou y être destiné) par rapport à un point de relève où on peut procéder à des changements de remorques sans toutefois qu'un service puisse y débuter ou y finir.

Dans le cas où il est situé dans une ville où des chauffeurs de l'entreprise sont stationnés, le terminus est aussi considéré comme une base d'opérations. Notons qu'une base d'opérations est nécessairement un terminus mais que l'inverse n'est

pas nécessairement vrai.

La notion de service abordée ci-haut varie selon le niveau qui nous intéresse. Au niveau du plan tactique de transport un service définit un mode de transport offert entre un terminus d'origine et de destination. Le mode de transport peut varier selon qu'il s'agit de transport routier, par rail, ou autres moyens de transport et en fonction de l'équipement utilisé tel que les différents types de remorques (20 ou 45 pieds, double-remorque, ...).

Au niveau de l'établissement des routes un service est en plus caractérisé par la suite de segments de routes qu'il emprunte de son origine à sa destination. La fréquence est une autre caractéristique d'un service; elle correspond au niveau de ce service en termes de nombre de départs pour une période de planification donnée.

Mentionnons finalement que l'ensemble de tous les services offerts par l'entreprise constitue son réseau de transport ou réseau de services. A l'aide de ces quelques descriptions, nous allons maintenant définir notre problème.

2.2.1 Définition du problème

Les entreprises de transport routier font souvent appel à des routes et horaires réguliers pour satisfaire la partie prévisible de leur demande de transport. Pour ces entreprises, il est préférable de couvrir à l'avance un nombre minimum de voyages (services) pour chacune des succursales (bases d'opération, terminus) qui composent leur réseau de transport.

Ce nombre minimum de voyage correspond en fait à la partie stable de la demande que l'entreprise est assurée d'avoir à chaque année ou période de planification donnée. Cette partie de la demande représente au minimum 80% du volume d'opération pour les périodes où le volume est considéré normal, mais peut diminuer à 70% ou moins lors des périodes de l'année où le volume est élevé (périodes d'affluence).

C'est en faisant appel à des routes dites régulières que cette partie de la demande est couverte. On cherche à établir un nombre minimum de voyages de marchandises à effectuer pour chaque succursale de façon à répondre adéquatement à cette demande dite

stable. (Voir figure 2.1 pour l'illustration du processus global d'établissement des routes régulières).

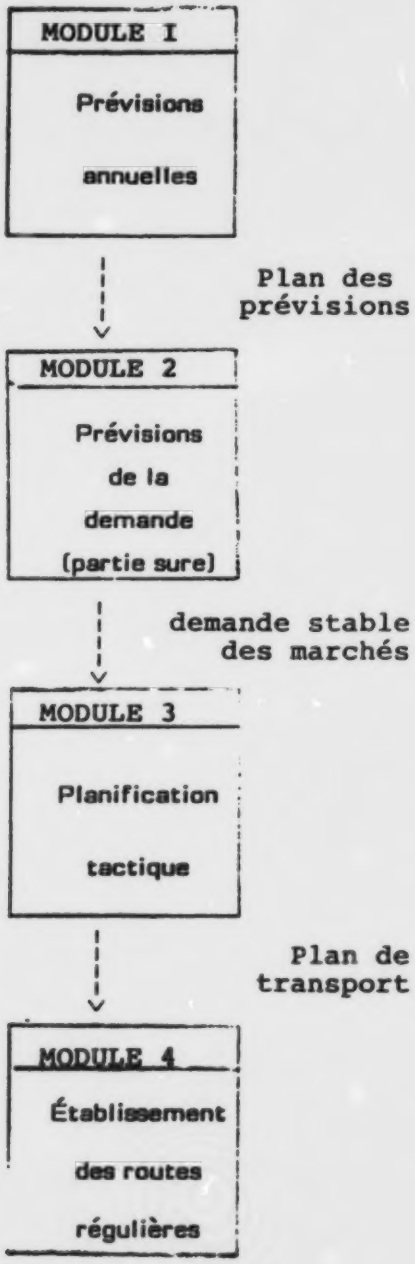
Dans les entreprises que nous avons consultées, les routes régulières desservent, pour une période de temps donnée (habituellement neuf (9) mois de l'année excluant décembre, janvier et février, où la demande est faible) un même service c'est-à-dire la même origine et destination à chaque occurrence et suivent la plupart du temps un horaire dont les heures de départ varient d'un mois à l'autre en fonction des exigences du marché (demande) et du volume de marchandise.

Une liaison Montréal-Québec aller et retour qui s'échelonne du mois de mars au mois de novembre, et dont le départ se situe entre 09H00 p.m. et 01H00 a.m. constitue un bon exemple d'une route régulière, telles qu'elles sont établies dans les entreprises québécoises de transport.

La planification de ces routes par les gestionnaires de l'entreprise de transport permet d'offrir un service stable et fiable aux clients réguliers. Elle permet également de mettre sous contrat

FIGURE 2.1

Diagramme du processus d'établissement des routes régulières



pour une période fixe les chauffeurs nécessaires aux opérations de transport des marchandises qui assurent une base régulière d'opérations à l'entreprise. De plus, elle allège les tâches des répartiteurs dont le rôle est de coordonner les mouvements de façon à ce que toute la marchandise soit acheminée à destination selon les horaires prévus.

Ceux-ci doivent céduler les remorques et leurs heures de départs tout en tenant compte des délais d'opérations et des procédures de balancement et d'agencement dans les succursales d'origine et de destination. Ceci leur est alors possible sans avoir à se préoccuper de «choisir» et de contacter les chauffeurs qui eux, auront soumissionné pour obtenir la route qui répond le plus à leurs besoins. Le choix des routes par les chauffeurs s'effectue selon les règles prévues à la convention collective et des critères tels que l'ancienneté et la classification des routiers. On réfère alors à ces routes comme aux routes régulières soumissionnées ou «bids-runs».

Mais avant d'établir les routes régulières, on doit d'abord connaître les prévisions de la demande

à moyen terme qui permettront d'établir le plan tactique de transport. Un plan semblable tel que celui proposé par Roy (1984) et qui se concentre sur les opérations de transport inter-cité et de manutention dans les terminus (qui sont en fait les opérations qui varient en fonction du plan de fréquence et des itinéraires choisis), détermine pour une période de planification donnée:

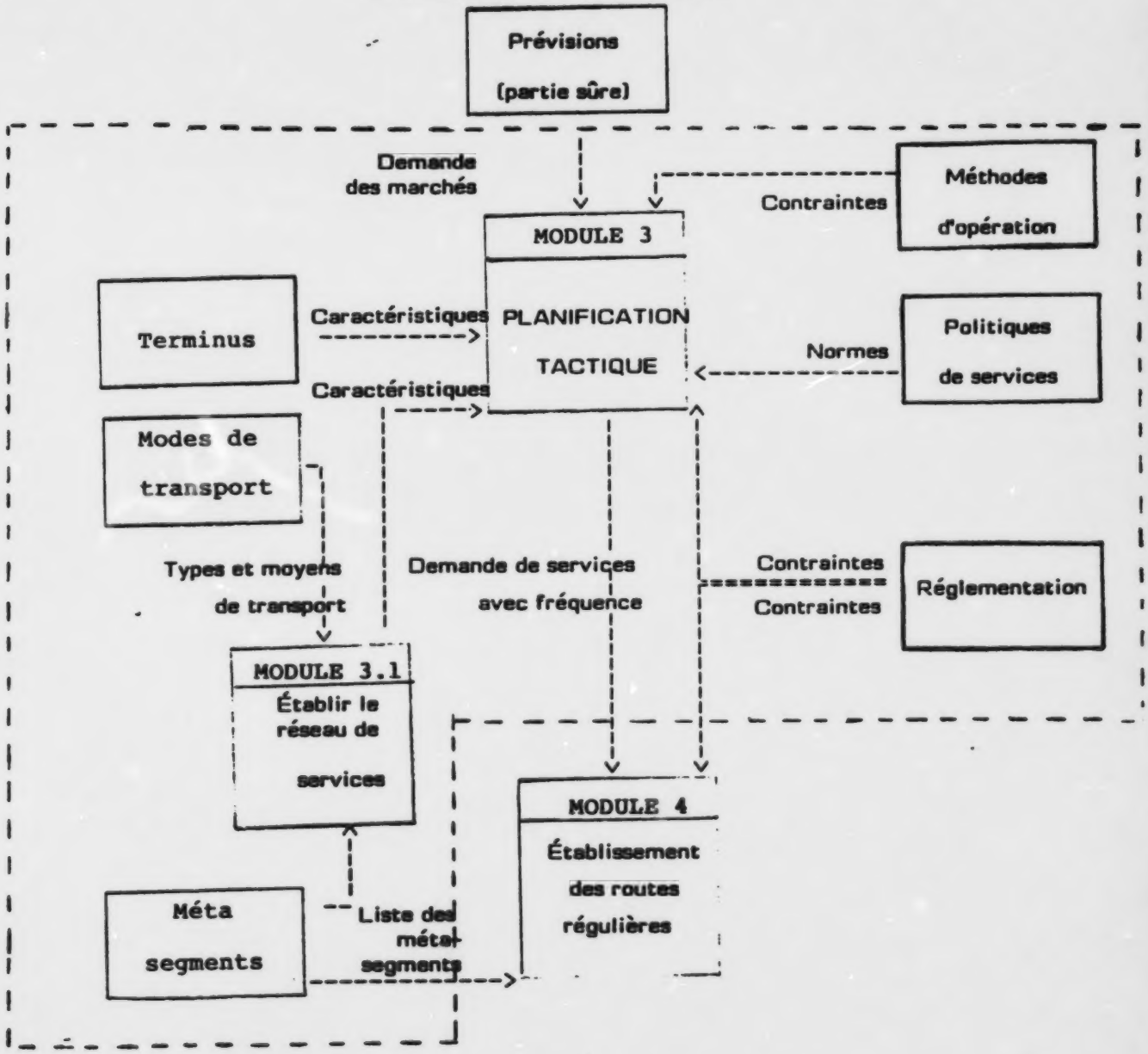
i) les services de transport opérés par le transporteur entre chaque paire de terminus avec leur fréquence respective de départ ainsi que;

ii) les itinéraires (suite de services) qu'auront à emprunter les diverses marchandises entre leur point d'origine et de destination finale, en plus des spécifications des opérations effectuées aux terminus intermédiaires.

Comme on peut le voir à la figure 2.2 plusieurs facteurs reliés au module de planification tactique devront être pris en compte afin d'obtenir des résultats (routes régulières) valables.

FIGURE 2.2

Diagramme de l'éclatement du module de planification tactique



Les caractéristiques des terminus (espace, disponibilité) les normes de politiques de services (livraison en deçà de 24 heures, 48 heures...), les contraintes de méthodes d'opération de même que la réglementation, doivent être considérées en même temps que les autres données nécessaires à la planification tactique.

Ainsi, ce n'est qu'en considérant conjointement les facteurs ci-haut mentionnés avec les caractéristiques du réseau de services, qui dépend lui-même à la fois des types et modes de transport et des méta-segments de départ (liens à couvrir), que l'on obtiendra les données voulues et nécessaires pour les opérations de transport.

Ces données (services, fréquences, itinéraires) sont les données de base à partir desquelles on peut procéder à l'élaboration des routes régulières qui couvriront l'ensemble des services de transport.

2.3 Efficience du choix des routes

Là où l'on doit apporter une attention particulière dans l'établissement des routes régulières c'est au niveau de l'efficience du choix de ces routes. L'efficience (meilleur choix possible de routes couvrant l'ensemble des services visés) peut ici être mesurée en termes de coûts associés à chaque ensemble potentiel de routes régulières.

Ces coûts dépendent et varient en fonction d'un éventail de facteurs dont voici les principaux:

i) le degré d'utilisation des heures productives des chauffeurs telles que prévues au niveau de la convention collective;

ii) la réduction du temps nécessaire aux chauffeurs pour «accrocher», «décrocher» et changer de remorques;

iii) la réduction du temps de travail (excluant les heures de conduite du véhicule) des chauffeurs nécessaires à l'entretien général, au plein du véhicule ainsi qu'aux vérifications d'usage du véhicule;

iv) la réduction des temps d'attente aux terminus d'origine, de destination, de transfert ou de consolidation pour les chauffeurs;

v) l'utilisation des heures supplémentaires;

vi) les frais alloués aux chauffeurs lors des périodes de repos hors-base obligatoires;

vii) les frais relatifs à l'utilisation du matériel roulant (coût en carburant) selon le réseau routier emprunté (voies routières);

viii) l'utilisation de l'espace de chargement des remorques (chargement à capacité, réduction au minimum du kilométrage à vide);

ix) et finalement les coûts intangibles reliés aux critères de qualité du service.

On doit également tenir compte du respect des règles prévues à la convention collective et des règlements gouvernementaux dont la nouvelle réglementation qui est entrée en vigueur le 1er janvier 1989. Celle-ci a modifié

les heures de travail des chauffeurs avec pour effet immédiat d'éliminer les longs trajets, du genre Montréal-Toronto, ce qui a eu un impact important sur l'établissement des routes.

Confrontés à toutes ces règles et contraintes, les gestionnaires des entreprises de transport routier par camions, lorsqu'ils doivent établir les routes régulières pour la ou les périodes à venir se fient bien plus souvent à leur expérience et à leur connaissance des marchés qu'à des règles bien définies. Des outils informatiques, qui feraient appel à de telles règles, pourraient leur permettre d'explorer et d'analyser un nombre beaucoup plus important de combinaisons de routes régulières réalisables parmi lesquelles on pourrait possiblement choisir un ensemble de routes qui respecte les diverses contraintes et exigences des entreprises.

A l'heure actuelle et selon nos connaissances, les gestionnaires qui ont à établir les routes régulières le font manuellement. Ils se basent sur les routes régulières établies lors des périodes précédentes et y apportent les modifications jugées

nécessaires, en regard des performances observées lors de ces mêmes périodes, tout en tenant compte des prévisions établies (volumes) pour la période de planification étudiée.

Les modifications apportées consistent la plupart du temps en l'ajout et l'élimination de routes, tel que dicté (en grande partie) par l'expérience des gestionnaires.

Un tel procédé de modifications (ajouts et retraits) à partir d'une solution déjà existante peut produire des résultats dont la qualité n'est pas optimale (solution non efficiente). Cela peut s'expliquer par le fait que cette solution n'est elle-même ni plus ni moins qu'une adaptation de la solution en vigueur lors de la période précédente, c'est-à-dire un ensemble de routes régulières qui pouvait fort bien répondre aux exigences de cette période mais qui, même s'il a subi des modifications, n'est pas nécessairement bien adapté à la situation actuelle.

Ce procédé d'ajouts et retraits peut avoir pour effet de limiter (restreindre) la génération ou

l'élaboration de routes parmi lesquelles certaines auraient éventuellement pu permettre de construire un meilleur ensemble de routes.

Basé sur le contexte qui vient d'être décrit, l'objectif de ce mémoire est de présenter et d'expérimenter un outil de planification auquel pourraient faire appel les entreprises de camionnage pour résoudre leur problème d'établissement des routes et horaires réguliers.

Comme nous venons de le voir dans ce chapitre, ce problème correspond en fait à déterminer pour tous les services reliés à la partie stable de la demande; les parcours et heures de départ, qui satisferont les critères de qualité du service offert à la clientèle, tout en minimisant les coûts d'opération de l'entreprise.

Puisqu'il n'existe pas, à notre connaissance, de méthode autre que manuelle pour résoudre notre problème nous verrons dans le prochain chapitre certaines des approches appliquées aux horaires du domaine aérien qui peuvent nous aider à établir les routes et horaires

désirés. Ces approches ont, en fait, inspiré la méthode de résolution qui nous servira à résoudre notre problème.

CHAPITRE 3

REVUE DE LITTÉRATURE

Après avoir examiné les particularités de l'industrie du transport routier et des entreprises qui la composent et après avoir défini notre problématique, nous allons regarder dans ce chapitre différents types d'horaires.

Le problème des horaires d'équipages du domaine aérien est exposé en détails. Il consiste à assigner aux équipages d'avion les vols qu'ils auront à effectuer. Une des phases de ce problème qui vise à générer et à sélectionner un ensemble optimal de rotations (suite de segments de vol) présente des similitudes marquées avec notre problème d'établissement des routes. Les méthodes de résolution du problème des horaires d'équipages ont inspiré celles du modèle présenté dans ce mémoire. Ces méthodes sont décrites dans la deuxième partie de ce chapitre.

3.1 Catégories et types d'horaires

Les années'80 ont été fertiles en recherche sur les problèmes de gestion stratégique et tactique du transport de marchandises, que l'on fasse référence aux nombreux modèles proposés par Barker et al. (1981), Powell et Sheffi (1983), Roy (1984), Delorme et al. (1986), Crainic et al (1987), ou à plusieurs autres.

Cependant peu de travaux, à notre connaissance, touchent spécifiquement le problème qui nous préoccupe ici. En effet, l'établissement de routes régulières dans les entreprises de transport routier des marchandises ne semble pas avoir fait l'objet d'études particulières.

Des approches de résolution de problèmes semblables ont été néanmoins développées et expérimentées dans un domaine similaire, soit celui du transport aérien et des compagnies d'aviation. Ce sont quelques-unes de ces approches que nous nous proposons d'examiner ici.

La majorité des méthodes qui ont été développées pour résoudre les problèmes d'horaires font appel à la recherche opérationnelle et à ses outils, lire modèles

mathématiques, pour manipuler et «maîtriser» les données abondantes et complexes inhérentes à de tels problèmes. Pour le gestionnaire des opérations, les outils mis à sa disposition par la recherche opérationnelle constituent des atouts privilégiés.

Ceci est particulièrement vrai dans le domaine de la construction d'horaires, qui en est un où les méthodes scientifiques peuvent atteindre, en un temps beaucoup moindre et à un coût inférieur, des résultats de meilleure qualité que ceux qu'on obtiendrait avec des méthodes manuelles de type «essais et erreurs».

Les modèles de construction d'horaires sont aussi variés que les problèmes auxquels ils se rapportent. Nous examinerons ici quelques exemples de construction d'horaires parmi les plus répandus et connus. (Voir Nobert et Laporte 1985 ainsi que Rousseau 1984 pour une revue plus complète et détaillée).

Deux grandes catégories d'horaires peuvent être distinguées dans le cadre de ce bref survol. D'abord, on retrouve la construction d'horaires à partir de journées de travail continues (ex: horaire des

policiers) puis ensuite, dans les situations où les journées de travail ne sont pas continues, la construction d'horaires à partir de journées composées de plusieurs pièces de travail (séparées par des périodes de repos), ex: horaire du personnel de bord des avions, des chauffeurs de camions et des chauffeurs d'autobus.

Dans le premier type d'horaire cité, on peut observer plusieurs méthodes de solution qui dépendent à la fois de la complexité du problème et du contexte général (contraintes).

Un des exemples les plus simples est représenté par la construction d'un horaire de téléphoniste. Le problème est de déterminer, pour chaque heure de la journée, le nombre d'employés qui commenceront leur quart de travail, de façon à répondre adéquatement à la demande. La solution au problème consiste à recouvrir la courbe de demande (histogramme) avec une série de rectangles continus ou brisés. Ce problème fut étudié et résolu par Segal (1974) et est décrit dans Norbert et Laporte (1985).

Dans des contextes où le nombre d'employés requis varie de jour en jour, la méthode pour déterminer l'horaire des téléphonistes ne s'applique plus. On fait alors face à un problème du type «horaire des policiers». La solution à ce problème consiste à remplir une grille vide de X semaines avec des configurations travail-congé, c'est-à-dire de séquences de jours de travail et de jours de congé. On fait notamment appel à la programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre ces problèmes. Laporte et al, (1980) ainsi que Trémolières (1976) se sont penchés sur ce type de problème dans leurs travaux.

Dans le cas où le même horaire cyclique n'est pas répété continuellement au cours de l'année (contrairement au cas de l'horaire des policiers), notamment dans le milieu hospitalier, la construction d'horaire du personnel infirmier fait appel à l'optimisation combinatoire comportant à la fois des exigences rigides (attribuer un horaire à chaque employé) et souples (respecter au mieux les besoins de l'hôpital et les désirs de l'employé). Des recherches sur ce problème ont été réalisées par Raymond et Rousseau (1980) et Burns (1978).

C'est cependant le deuxième type d'horaire, celui des journées composées de plusieurs pièces de travail qui nous intéresse plus particulièrement. De tels horaires sont utilisés dans le domaine aérien. Nous examinerons donc quelques-uns des modèles qui servent à établir ces horaires et qui présentent des similitudes avec notre problème.

3.2 Mise en situation: le domaine aérien

Dans le domaine du transport aérien, le problème des compagnies d'aviation est d'assigner aux équipages les vols qu'ils auront à effectuer (connu sous le nom du problème des horaires d'équipages).

Elles doivent s'assurer qu'à chaque vol compris dans le plan de vol correspond un équipage (pilote et co-pilote) et ce, conformément à la réglementation, convention collective et politiques de la compagnie.

Ce problème est composé de cinq (5) phases (Crainic 1978):

1° La formation d'un plan de vol pour les avions;

2° La distribution des équipages dans les bases;

3° La génération et la sélection d'un ensemble optimal de rotations;

4° Le groupement de ces rotations en horaires individuels;

5° Le nombre d'équipages de réserve;

La phase de génération et de sélection d'un ensemble optimal de rotations (phase 3) est celle qui nous intéresse le plus particulièrement.

Comme nous l'avons fait pour le transport routier, nous allons définir ici les principaux éléments composant ce problème:

Le segment de vol est l'unité de base dans la génération des rotations, il correspond à un segment de vol entre deux escales.

Une rotation désigne un voyage composé d'une suite de segments de vol, entrepris par le même équipage et

qui peut s'étendre sur plusieurs jours. Elle débute et prend fin à la base d'opération (ville de résidence) de l'équipage tout en respectant la réglementation, convention collective et politiques de la compagnie.

La période de service est la période durant laquelle un équipage effectue un ensemble de segments de vol sans période de repos. Une rotation est composée d'une ou plusieurs périodes de service.

Le temps de vol est la période de temps entre le départ et l'arrivée d'un vol alors que le temps total du voyage est la période de temps entre le début de la période de préparation de la première période de service d'un équipage et la fin de la période de compte rendu de sa dernière période de service.

Ce qui est recherché dans la phase de génération et sélection de rotations est un ensemble de ces dernières, tel que chaque vol ou suite de segments, soit recouvert par au moins une rotation et ce, bien entendu à un coût minimum.

Du point de vue mathématique, le problème peut se représenter comme nous allons le voir par un problème de recouvrement d'ensemble (set covering).

Diverses méthodes dites heuristiques seront elles aussi présentées. Ces méthodes sont en fait des approximations qui ne garantissent pas l'obtention de solutions optimales mais qui sont généralement plus rapides que les méthodes exactes.

Les heuristiques procurent une flexibilité accrue dans l'analyse de problème à grande échelle, comme ceux qui nous préoccupent. Elles rendent possible l'imposition de règles particulières qui permettent, par exemple, l'élimination ou la mise en mémoire (réserve) d'alternatives potentielles. Ceci a pour effet de réduire la complexité et les temps de résolution et d'exécution de la méthode utilisée pour résoudre un problème.

La revue de littérature qui suit fait état de telles méthodes. Mais voyons d'abord le problème de recouvrement d'ensemble.

3.3 Le problème de recouvrement d'ensemble

Lorsqu'on considère le problème des horaires d'équipages comme la sélection d'un ensemble de rotations qui couvrent chaque segment de vol au moins une fois (tout en minimisant le coût total) on peut alors formuler ce problème comme un problème de recouvrement d'ensemble dont la formulation est la suivante:

$$
\begin{aligned}
(sc)\quad & \text{minimiser } (c,x) \\
& \text{sujet à } Ax \geq 1 \\
& x = 0,1
\end{aligned}
$$

où c est un vecteur coût (n x 1)

A est la matrice (m x n) où

$$
a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la rotation } j \text{ couvre le segment de vol } i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}
$$

m= nombre de segments de vol

n= nombre de rotations

x est un vecteur variable (n x 1)

Les segments de vol sont obtenus en décomposant les vols du plan de vol. Un segment de vol est alors un vol sans escale entre deux villes cédulé à une heure donnée pour un jour donné ou encore une suite de tels vols effectués par un même appareil (avion) et considéré de façon arbitraire comme un vol continu pour fins de planification.

Chaque rotation est alors une combinaison successive d'un ou plusieurs segments de vol et de périodes de repos (si applicable).

Plusieurs méthodes de solution sont possibles lorsqu'un ensemble de variables de dimension «raisonnable» est disponible. (Arabeyre et al. 1969, Salkin 1975, Marsten 1974, Delorme 1974, Balas et Ho, 1980). Cependant dans le cas de la construction d'horaires d'équipages d'une compagnie d'aviation où plusieurs millions de rotations sont généralement possibles, l'élaboration d'heuristiques permet de limiter la génération des variables ou de décomposer le problème en plusieurs sous-problèmes. De cette façon il est possible de résoudre individuellement chaque sous-problème et d'utiliser les méthodes de résolution

du problème de recouvrement d'ensemble afin d'obtenir une solution optimale à ces sous-problèmes.

3.3.1 L'algorithme de Rubin

Cet algorithme (Rubin 1973, 1975) fut parmi les plus utilisés par les compagnies d'aviation. Il s'agit en fait d'une méthode heuristique qui cherche à améliorer une solution initiale habituellement fournie par la compagnie.

Pour chaque sous-ensemble sl des rotations sont considérées, un sous-problème de recouvrement d'ensemble est créé pour le sous-ensemble de segments de vol couvert par sl.

Pour ce sous-problème limité de recouvrement d'ensemble, il est possible de générer toutes les variables (rotations) couvrant le sous-ensemble de segments de vol. Par leur petite taille, ces problèmes sont faciles à résoudre de façon optimale. Ainsi, lorsque la solution générée possède un coût inférieur à sl, cette solution remplace sl pour devenir le nouveau problème de départ.

En premier lieu, seuls les sous-ensembles d'une rotation (niveau 1) sont considérés et ce jusqu'à ce que pour un cycle complet «à travers» les variables, aucune amélioration n'ait été notée. Par la suite, les sous-ensembles de deux rotations (niveau 2) sont considérés suivis des sous-ensembles de trois rotations (niveau 3) et ainsi de suite.

L'imposition d'une limite de temps permet d'arrêter l'algorithme. Ainsi, celui-ci aura rarement le temps de considérer les sous-ensembles de rotations de niveau 4 et plus.

En plus du fait que le choix d'une stratégie appropriée à la considération des sous-ensembles de rotations soit critique pour cet algorithme, il est généralement reconnu que seulement 1% des tentatives d'amélioration s'avèrent fructueuses et que la qualité de la solution finale produite par l'algorithme de Rubin dépend fortement de la qualité de la solution initiale.

3.3.2 L'algorithme de Baker, Bodin et Fisher

Ces auteurs (Baker 1979, Baker et al 1979, 1980) décrivent l'utilisation par Federal Express Corporation, d'algorithmes heuristiques du problème de recouvrement d'ensemble pour résoudre les problèmes d'établissement d'horaires de pilotes d'avion.

Le système utilisé par Federal Express comprend trois étapes:

i) un générateur de rotations;

ii) un algorithme heuristique de recouvrement d'ensemble;

iii) un ensemble de techniques de post-optimisation;

Dans un premier temps le générateur de rotations énumère de nouvelles rotations légales (réalisables) et évalue leur coût respectif. Des procédures subjectives de réduction sont incorporées dans cette énumération afin de limiter le nombre de rotations générées et pour permettre de réduire le temps de calcul (ordinateur) du module de génération. L'utilisation

de ces procédures de réduction sert à renforcer les politiques d'opérations ayant trait aux rotations (ex: nombre maximum d'heures hors-base).

Pour la deuxième étape, parmi les quatre méthodes heuristiques qui ont fait l'objet d'une évaluation poussée dans les travaux de Baker, Bodin et Fisher, celle qui produit les meilleurs résultats sélectionne les horaires des pilotes en fonction d'un critère de coût minimum des segments de vol non-recouverts. L'algorithme débute avec un ensemble solution vide et ajoute ensuite à la solution les horaires qui minimisent le coût par segment de vol non-couvert.

Finalement, plusieurs procédures de post-optimisation ont été proposées et le lecteur intéressé pourra consulter Baker et al (1979, 1980) pour plus de détails.

3.3.3 L'appproche de Lavoie

L'approche présentée par Lavoie, Minoux et Odier (1985) est basée sur une procédure de programmation linéaire appliquée à la relaxation continue du problème

de recouvrement d'ensemble obtenu en considérant implicitement toutes les rotations légales (possibles et réalisables).

En pratique, le problème est formulé comme un problème de recouvrement d'ensemble avec plusieurs colonnes représentant les rotations légales. Le sous-problème de la génération des colonnes est alors traité comme un problème du plus court chemin sur un réseau.

Il est alors possible de résoudre optimalement de tels problèmes linéaires tout en ne considérant qu'un nombre limité de colonnes (rotations) à l'aide d'un algorithme de génération de colonnes qui, à chaque étape du simplex révisé, détermine la colonne au coût marginal minimum.

La première étape d'élaboration des rotations consiste à construire tous les services valides (une rotation étant une séquence de services). Puisqu'un service est composé d'un nombre limité de segments de vol on peut obtenir l'ensemble de tous les services par l'énumération des segments et la vérification des contraintes existantes.

Toutefois, pour bâtir une rotation, la séquence de services doit satisfaire plusieurs exigences (ex: période de repos entre deux services successifs). On peut alors bâtir un graphe où les noeuds correspondent aux services et où l'ensemble des arcs peut être défini en liant les services (noeuds) les uns aux autres. L'ensemble des rotations correspond alors à l'ensemble de tous les chemins dans le graphe qui répondent aux contraintes.

On se retrouve donc avec un arbre de décision où les branches correspondent aux diverses situations susceptibles de se produire quand, dans la construction d'une rotation, on ajoute un nouveau service.

On peut alors générer un nouveau graphe étendu (G') dans lequel tous les chemins sont en correspondance 1-1 avec les rotations légales c'est-à-dire que les rotations remplissent les exigences (contraintes) spécifiées dans l'arbre de décision.

L'ensemble des noeuds du nouveau graphe G' est formé en reproduisant pour chaque noeud du graphe G autant de copies qu'il y a d'états dans l'arbre de

décision. Un état équivaut à une situation donnée à laquelle correspond certaines implications. Deux (2) noeuds de G' sont alors connectés par un arc si les contraintes spécifiées par l'arbre de décision sont satisfaites.

Les auteurs de cette méthode mentionnent que la génération du graphe étendu G' peut être effectuée dans une pré-phase indépendante de la procédure de résolution du problème d'élaboration des rotations.

L'approche alors proposée pour résoudre l'élaboration des rotations se base sur une procédure de génération de colonnes qui tient compte, implicitement, de l'ensemble complet des rotations afin de ne pas exclure a priori aucune rotation légale.

Le sous-problème de génération de colonnes consiste à trouver les rotations à coût marginal minimum et ceci est possible sans avoir à énumérer toutes les colonnes (rotations) en réduisant le problème à un problème de chemin le plus court dans le graphe étendu G'. Le sous-problème de génération de colonnes peut alors être solutionné par une simple procédure d'étiquetage telle

que celle proposée par Dijkstra (1959).

Il semblerait que cet algorithme soit en grande partie indépendant de la qualité de la solution de départ et que de plus, il produise à l'optimalité, des solutions entières.

3.3.4 L'approche de Crainic et Rousseau

Crainic et Rousseau (1986) proposent un algorithme de génération progressive de variables qui génère un ensemble de rotations à l'aide de manipulations de coûts marginaux.

Dans cet ensemble relativement limité de rotations, on retrouve la solution optimale de la relaxation linéaire de la formulation de recouvrement d'ensemble du problème.

La procédure génère et résout une série de problèmes de recouvrement d'ensemble continu ($x > 0$). Après que chacun de ces problèmes aient été solutionnés, un nouvel ensemble de rotations est généré. Lorsqu'ajouté à l'ensemble initial de rotations, ce nouvel ensemble

de rotations doit améliorer la solution. On utilise les coûts marginaux pour guider la génération et la sélection de ces rotations.

La procédure prend fin lorsque les améliorations apportées par les nouvelles rotations sont jugées négligeables.

Les étapes de l'algorithme sont les suivantes:

0. Générer les segments de vol et les périodes de services.

1. Résoudre un problème de recouvrement d'ensemble continu (CSC) avec les rotations contenues dans l'ensemble R des rotations de départ (et des rotations temporaires à coût élevé, si nécessaire, pour compléter le recouvrement).

2. Générer R' un ensemble de nouvelles rotations de longueur plus petites ou égales à celles contenues dans R et susceptibles d'améliorer la solution (coûts marginaux négatifs).

3. Si ce nouvel ensemble R' améliore la solution alors on l'ajoute à l'ensemble initial de rotations R et puis on retourne à l'étape 1 afin de résoudre un nouveau sous-problème de recouvrement pouvant éventuellement améliorer la solution en main.

Dans le cas où le nouvel ensemble R' n'améliore pas la solution on doit alors s'assurer que la longueur des rotations respecte les limites imposées par les compagnies d'aviation avant de retourner à l'étape 1. Lorsque la longueur limite est atteinte l'algorithme prend fin.

Pour obtenir les segments de vol, on décompose les vols du plan de vol, à l'aide d'une procédure de décomposition, en faisant référence aux politiques opérationnelles de la compagnie d'aviation (ex: l'équipage ne peut changer de vol qu'à une base).

Quant à elles, les périodes de travail sont générées à partir des segments de vol par une procédure de chaînage qui tient compte des règles et règlements qui s'appliquent aux rotations.

A l'étape 2, l'accès des périodes de services, au générateur de rotations, est restreint par l'utilisation d'un critère de non-négativité des coûts marginaux. Ce critère n'écarte cependant pas de rotations qui pourraient éventuellement améliorer la solution finale. Ainsi, si les sommes des coûts marginaux d'un sous-ensemble de périodes de services, pouvant mener à la formation d'une rotation, est non-négatif, alors cette rotation n'est pas générée.

Lorsque le programme linéaire final est résolu et qu'aucune autre rotation à coût marginal négatif ne peut être générée, on fait alors appel à l'heuristique de Salkin (1975) pour obtenir la solution entière au problème original de recouvrement d'ensemble.

Il est à noter que l'algorithme présenté ici arrête lorsqu'il atteint une limite pré-établie qui peut varier selon les objectifs visés et le temps disponible.

3.4 Conclusions

Nous avons vu dans ce chapitre le problème des horaires d'équipages d'avions. Une des phases de la résolution de ce problème, soit la génération et la sélection d'un ensemble optimal de rotations, montre des similitudes marquées avec notre problème d'établissement des routes et horaires réguliers. Nous avons donc décrit dans notre revue de littérature quelques-unes des approches, utilisées dans le domaine aérien, qui ont inspiré la méthode proposée dans le chapitre suivant pour résoudre notre problème d'établissement des routes.

Les approches de Baker, Bodin et Fisher, de Lavoie, Minoux et Odier et, de Crainic et Rousseau, ont toutes contribué à l'élaboration de notre méthode, bien qu'à des degrés différents.

Ainsi, les procédures de génération de rotations proposées par ces auteurs ont aidé à la génération de nos routes. Les heuristiques de recouvrement d'ensemble ont été appliquées à notre problème de même que certaines techniques de post-optimisation.

Le chapitre suivant décrit les étapes de la méthode proposée pour établir nos routes et horaires réguliers.

CHAPITRE 4

LA MÉTHODE D'ÉTABLISSEMENT DES ROUTES RÉGULIÈRES

Ce chapitre décrit la méthode de résolution que nous utilisons pour l'établissement des routes et horaires réguliers. On y décrit les étapes des trois activités principales de la méthode que sont la génération des segments, la génération d'un ensemble de «bonnes» routes, et l'optimisation du choix des routes. Les détails mathématiques des diverses procédures ont été volontairement omis mais peuvent être examinés de plus près en consultant les travaux de Crainic, Delorme et Roy (1988).

Notre problème d'établissement des routes et horaires fait partie des problèmes de recouvrement d'ensemble dont la formulation est exposée dans le chapitre précédent sur la revue de littérature. C'est d'ailleurs des approches décrites dans cette revue de littérature que s'inspire la méthode présentée ici. La génération de rotations et l'établissement des horaires d'équipages du domaine aérien s'apparente effectivement fortement à la génération et à

l'établissement de routes et horaires du domaine routier.

Les variables de notre problème de recouvrement d'ensemble, que sont les routes, sont en fait l'équivalent des rotations du domaine aérien. Les segments de vol sont remplacés par des segments de route. Ce sont d'ailleurs ces segments qui engendrent les contraintes de l'optimisation du choix des routes.

Tout comme dans le problème de génération des rotations notre méthode génère d'abord les segments de départ nécessaires à la génération de nos routes.

Puis, comme dans l'approche de Baker et al, (1979,1980), on génère à partir de ces segments une première solution. Cette solution est améliorée, tout comme dans les approches de Lavoie et al, (1985) et Crainic et al, (1986) par la génération de colonnes qui, dans notre contexte, représentent les routes légales.

On se sert alors de critères de coûts marginaux semblables à ceux de l'approche de Crainic et Rousseau

(1986), pour limiter le nombre de routes à considérer dans l'optimisation du choix des routes, appelés à couvrir les segments de départ. Une solution entière au problème de recouvrement d'ensemble est alors déterminée tout comme pour le domaine aérien, avec l'heuristique de Salkin (1975).

4.1 Définitions

Avant de décrire les étapes de la méthode utilisée, voyons quelques notions qui se rattachent de façon particulière, à la résolution du problème d'établissement des routes et horaires réguliers.

Aux notions de terminus, base d'opération, service, fréquence et réseau de services, décrites dans le deuxième chapitre sur la problématique, on doit rajouter celles de méta-segments, segments, période de planification, période de travail, méta-route et route-horaire.

Ces nouvelles notions nous permettront de mieux comprendre les étapes de la méthode utilisée.

Disons d'abord que les méta-segments sont des liaisons entre deux noeuds (bases d'opérations, terminus ou point de relève) du réseau de services, qui peuvent être effectuées sans opération intermédiaire.

Les segments eux, sont des méta-segments auxquels on ajoute une dimension temporelle en leur spécifiant des heures de départ.

Une suite de méta-segments qui débute et finit à la même base d'opération (ville de localisation des chauffeurs) constitue une méta-route alors qu'une suite de segments qui débute et finit à la même base constitue une route-horaire.

La méta-route sera dite normale si elle ne comporte aucune période de repos hors-base, et étendue dans le cas contraire. Une méta-route dont chacun des méta-segments qui la compose n'apparaît qu'une fois est appelée simple. Autrement nous parlerons d'une méta-route répétitive.

La période de planification, dans le cadre de notre méthode, est d'une semaine composée de cinq jours

de travail. Chaque jour correspond à un cycle de travail et de temps libre (incluant le repos). Un tel jour de travail commence pour un chauffeur dans la soirée et se termine le lendemain matin on parlera donc de journée (période) de travail.

Aidés de ces quelques définitions, il sera plus facile de décrire les étapes de la méthode utilisée. Nous devons cependant présenter, dans un premier temps, certains aspects de la réglementation et des opérations d'une entreprise de camionnage qui doivent être pris en considération dans la méthode proposée.

4.2 Les contraintes d'élaboration des routes

Lors de l'élaboration des routes, toute compagnie de transport routier de marchandises doit tenir compte de deux principaux types de contraintes. On fait ici référence aux contraintes reliées à la réglementation gouvernementale ainsi qu'à celles qui découlent de la convention collective des employés de la compagnie et plus spécifiquement la convention collective des chauffeurs ou routiers.

Voyons d'abord de façon brève les contraintes gouvernementales qui peuvent être réparties en trois sous-groupes:

4.2.1 La réglementation gouvernementale

1° Heures de conduite et de service

Selon la Loi de 1987 sur les transports routiers, il est stipulé que conformément au règlement sur les heures de services des conducteurs de véhicules automobiles, un conducteur ne peut dépasser 10 heures de conduite et 15 heures de service par poste de travail.

On définit ici les heures de conduite comme la période pendant laquelle un conducteur est aux commandes d'un véhicule dont le moteur est en marche alors que pour les heures de service d'un conducteur il s'agit du temps qu'il consacre:

a) à présenter ou rédiger des rapports au début ou à la fin d'un poste de travail;

b) à inspecter, entretenir, réparer, mettre en état ou faire démarrer un véhicule;

c) à conduire un véhicule;

d) à se déplacer en tant que l'un des deux conducteurs d'un véhicule (deadheading);

e) à participer au chargement ou au déchargement du véhicule;

f) à inspecter ou vérifier le chargement du véhicule;

g) à attendre à la demande du transporteur routier pour qui il travaille, pendant l'entretien, le chargement ou le déchargement du véhicule;

h) à demeurer en disponibilité à un autre endroit qu'une résidence privée ou autre lieu de repos tel que motel ou hôtel, où le logement est fourni par le transporteur routier;

Quant à lui, le poste de travail comprend la période, dans une journée de travail, au cours de laquelle le conducteur est continuellement de service (excluant les périodes de repos).

Cependant, un conducteur pourra aller jusqu'à 12 heures de conduite par poste de travail et ce, à deux occasions pour toute période de 7 jours consécutifs si et seulement si en plus de respecter la contrainte des 15 heures de service par poste de travail, il ne dépasse en aucun cas 60 heures de service par période de 7 jours consécutifs et 70 heures de service par période de 8 jours consécutifs.

2° Périodes de repos

Après chacune des possibilités ci-haut mentionnées, que ce soit pour les heures de conduite ou de service, le conducteur a droit à un minimum de 8 heures de repos.

3° Pauses

Le règlement prévoit également qu'un conducteur ne peut conduire un véhicule pendant plus de quatre

heures consécutives sans avoir droit à une pause de 10 minutes et plus de six heures consécutives sans avoir droit à 30 minutes consécutives de pause.

En plus de la réglementation gouvernementale, certaines dispositions de la convention collective ont une influence directe sur l'élaboration des routes. Voyons donc les contraintes liées à la convention collective des conducteurs que nous avons observées dans l'utilisation de notre méthode.

4.2.2 Les contraintes syndicales

1° Préparation initiale du véhicule

Au début de chaque route, une période de 15 minutes payées au taux horaire régulier est allouée automatiquement au conducteur pour que celui-ci vérifie l'état général et mécanique de son véhicule et de son équipement.

2° Accrochage et décrochage

Une période de 15 minutes est allouée et rémunérée pour tout accrochage et/ou décrochage d'équipement (remorques). Le décrochage inclut le remisage de l'équipement au terminus de l'employeur.

3° Taux majoré

Les conducteurs qui ont à conduire plus de douze (12) heures consécutives sont rémunérés à un taux majoré équivalant à un taux horaire fixe ajouté à leur taux régulier (au millage).

4° Taux minimum garanti:

Les conducteurs recoivent l'équivalent de neuf (9) heures de paie chaque fois qu'ils doivent se présenter au travail.

4.2.3 Résumé des contraintes

On voit donc que la réglementation gouvernementale entraîne l'imposition d'une amplitude normale de travail

de 12 heures, notée tn, et une amplitude maximale de 15 heures, notée to.

Elle nous oblige aussi à inclure les temps de pauses spécifiés, dans le calcul de la durée d'une route.

La convention collective, quant à elle, détermine un temps minimum de travail garanti, noté tf, de 9 heures.

Elle spécifie les temps de préparation du véhicule au début de chaque route et d'accrochage/décrochage pour les segments, qui doivent également être inclus dans le calcul de la durée d'une route.

De plus, elle fixe le taux horaire en temps supplémentaire, noté Co lorsque le temps rémunéré d'une route, noté d^k, est compris entre tn (12 heures) et to (15 heures).

Ces notions seront utiles pour les phases de génération des routes et d'optimisation du choix de ces dernières qui sont, avec la génération des segments,

les activités de la méthode que nous décrivons dans la section suivante.

4.3 Activité 1: génération des segments

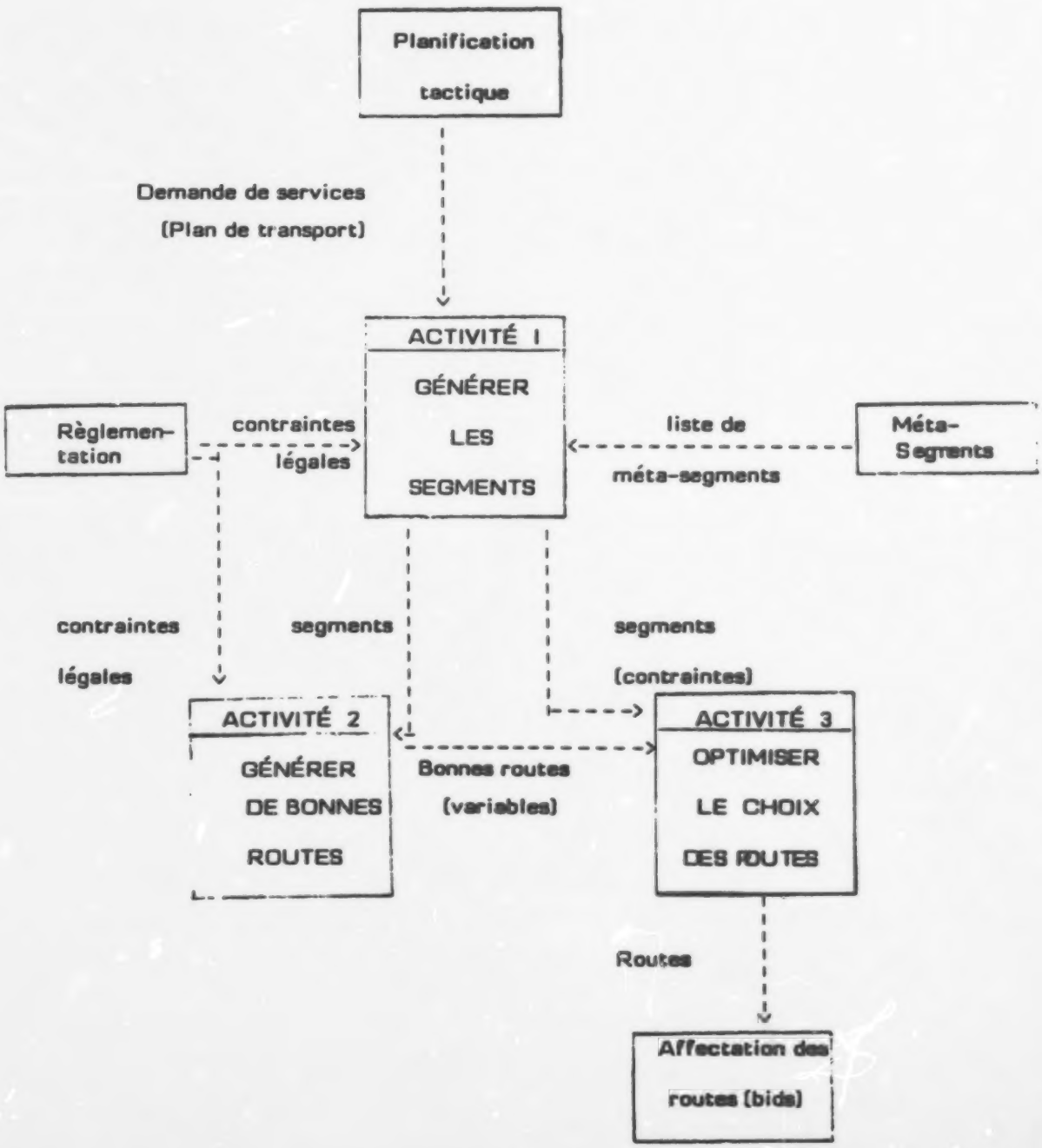
Tel qu'on peut le voir à la figure 4.1 la première activité de la méthode est de générer les segments qui forment les éléments de base de tout le processus.

Les segments sont obtenus à partir de la demande de services et de leur fréquence. Le parcours de chaque service du réseau de services est décomposé en méta-segments et c'est à partir de cet ensemble de méta-segments que l'on génère les segments par le calcul des temps de départ. On verra plus en détails la décomposition des services (réseau de services) en méta-segments et segments à la section 5.1.1 des «bids initiaux» du chapitre suivant sur l'expérimentation.

Disons simplement que la génération des segments consiste à décomposer les parcours de service et à répartir les fréquences dans le temps tout en tenant compte des délais d'arrivée des remorques, de la minimisation des temps totaux et de la réduction des périodes de repos hors-base des chauffeurs.

FIGURE 4.1

Éclatement du module d'établissement des routes régulières



Le problème est de déterminer, pour l'ensemble des services, les parcours et les heures de départ de ceux-ci. Alors que les heures de départ des services peuvent être établies à partir de distributions de la demande et du nombre de départs des services qui sont connus (partie stable de la demande), la méthode de détermination des parcours peut faire appel à des techniques de plus courts chemins. Finalement, les heures de départ des segments peuvent être établies en ajoutant, à l'heure de départ d'un parcours, la durée du ou des segments qui le composent.

4.4 Activité 2: génération de «bonnes» routes.

La deuxième activité consiste à générer un ensemble de routes parmi lequel on pourra, éventuellement, choisir un sous-ensemble de bonnes routes.

Le nombre potentiel de routes légales est très élevé. Générer toutes ces routes représente un processus long et coûteux. Dans le but de contourner ces difficultés, l'approche utilisée décompose le problème et relègue la considération des routes qui incl ent des périodes de repos hors-base à la phase de post-optimisation de la méthode. Ces routes

représentent, en effet, l'ensemble le plus grand parmi les routes légales en plus d'être celles qui sont le moins désirées.

La procédure de génération des routes est donc limitée à la recherche de routes normales sans périodes de repos hors-base. Puisqu'une route normale est composée de segments provenant d'une même journée, il est possible de générer séparément et indépendamment les routes pour chaque journée. Il est aussi possible de considérer séparément la construction des routes normales qui débutent à chacune des bases du problème puisque chaque chauffeur, et donc chaque route, est associé à une base.

La génération des routes normales, à partir d'une base donnée et pour un jour spécifié, se fait donc par une procédure de chaînage, qui parcourt la liste des segments déjà générés et construit les routes qui respectent nos critères de légalité (réglementation, convention collective) et d'efficacité (règles d'opération de l'entreprise).

La procédure définie en termes d'algorithme d'énumération implicite, par Crainic, Delorme et Roy

(1988), utilise divers critères d'étalage des branches de l'arbre d'énumération (légalité des routes, temps d'arrêt aux noeuds), pour limiter le processus d'énumération.

Il faut noter que les routes générées ne sont pas nécessairement simples, chaque méta-segment qui la compose peut donc apparaître plus d'une fois. Mais aucune ne contient la base comme noeud intermédiaire. Des routes répétitives sont toutefois formées, en combinant les routes de ce premier ensemble.

La procédure utilisée permet, par l'utilisation des critères d'élagage, de diminuer le nombre total de routes retenues pour l'activité suivante d'optimisation du choix des routes.

4.5 Activité 3: Optimisation du choix des routes

L'algorithme d'optimisation du choix des routes repose sur des fonctions de coût, qui assument que le temps alloué à des opérations autres que la conduite des camions par les chauffeurs n'est pas productif. Donc, l'ensemble des routes qui minimise ces temps non-productifs est celui qui présente le plus d'intérêt.

On définit le "coût" d'une route comme le temps rémunéré mais non dédié à la conduite du véhicule. Le coût de la route k, ck, est alors:

$$ck = d^k - d_k^p$$

où

d^k = temps rémunéré d'une route k

d_k^p = temps de parcours d'une route k

Alors que le temps de parcours d'une route est déterminé par la sommation des durées de chaque segment qui la compose, le temps rémunéré d'une route se définit comme suit:

$$d^k = \begin{cases} tf & \text{si } o \leq d_k^t \leq tf \\ d_k^t & \text{si } tf \leq d_k^t \leq tn \\ tn + \frac{co}{cn}(d_k^t - tn) & \text{si } tn \leq d_k^t \leq to \end{cases}$$

où

d_k^t= Durée de travail d'une route

tf= temps minimal garanti;

tn= Amplitude normale de travail

to= Amplitude maximale en temps supplémentaire

Cn= Taux horaire régulier;

Co= Taux horaire en temps supplémentaire;

Le temps rémunéré ainsi calculé est alors comparé à la durée totale du parcours de chaque route. On attribue alors à la route la différence comme coût, tel que présenté dans la formulation du coût, **ck**, un peu plus haut. De cette façon les routes de courte durée sont pénalisées tout comme celles comportant beaucoup de temps supplémentaire ou de longues périodes d'attente aux noeuds.

Le choix d'un sous-ensemble de routes recouvrant les segments générés précédemment est alors effectué,

par une méthode heuristique, selon cette évaluation du coût des routes.

Cette première solution est ensuite améliorée par des techniques d'optimisation. Le problème de recouvrement d'ensemble, constitué par le sous-ensemble de routes créé précédemment et les segments générés au départ, est un problème de programmation linéaire, qui est résolu par la méthode du simplexe.

Par la suite, la génération de colonnes permet d'améliorer progressivement la solution courante en considérant les routes générées à l'activité 2 et exclues du sous-ensemble initialement créé. L'algorithme de génération de colonnes détermine un ensemble de routes à coût marginal négatif à ajouter au problème ci-haut mentionné qui sera résolu par un simplexe révisé. La procédure prend fin lorsqu'on ne peut générer aucune autre route (colonne) à un coût marginal négatif.

L'heuristique de Salkin est alors utilisée pour obtenir la solution entière au problème original de recouvrement d'ensemble.

Une fois l'optimisation du choix des routes complétée, nous obtenons un ensemble de routes optimisées dotées chacune de certains attributs. Ainsi, pour chaque route optimisée nous obtenons le nombre de segments qui la composent, les heures de départ de chacun de ces segments, sa durée totale, son coût réel et son coût de non-productivité.

Ce coût de non-productivité, associé aux activités autres que la conduite du véhicule, comprend les temps prévus pour la préparation initiale du véhicule, l'accrochage et le décrochage des remorques, les pauses et l'attente aux noeuds. Pour les routes qui nécessitent moins de 9 heures de travail (temps minimum garanti) on ajoutera la différence du temps payé au coût de non-productivité. Par exemple, pour une route qui nécessite 7 heures de travail, on ajoutera les 2 heures supplémentaires à ce coût de non-productivité.

Contrairement au coût réel qui est un coût monétaire exprimé en dollars, le coût de non-productivité est un coût temporel exprimé en heures.

La méthode qui vient d'être décrite dans ce chapitre est expérimentée dans le chapitre suivant.

En plus de vérifier son bon fonctionnement avec des données réelles, nous allons démontrer les avantages des solutions obtenues avec cette méthode notamment au niveau des coûts réels et de non-productivité.

CHAPITRE 5

EXPÉRIMENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Ce chapitre fait état de l'expérimentation de la méthode décrite au chapitre précédent. Nous avons procédé à deux essais à partir de données réelles obtenues d'une entreprise de camionnage québécoise.

Dans un premier essai nous avons utilisé les bids opérés par l'entreprise afin de générer manuellement les méta-segments qui nous servent de données de base. Pour obtenir les segments nécessaires à la génération des routes nous avons associé des heures de départ réelles aux méta-segments. Ces heures de départ ont été retracées par l'étude des documents portant sur les mouvements réels des tracteurs de l'entreprise pour les cinq jours de la période de planification.

Dans le deuxième essai, nous avons utilisé une procédure de détermination des heures de départ pour chacun des segments tout en faisant appel aux méta-segments issus de la décomposition des bids, opérés par l'entreprise, pour expérimenter notre méthode.

Les résultats obtenus et l'analyse de ces résultats sont exposés dans ce chapitre.

5.1 Décomposition des bids réels en méta-segments

Pour expérimenter la méthode d'établissement des routes, nous avons dû recueillir les données réelles, qui concernent la réglementation et la convention collective, énumérées au chapitre précédent.

Ce sont toutefois les méta-segments qui sont les véritables données de base de la méthode. Nous verrons donc, dans cette section, comment nous avons obtenu ces méta-segments.

5.1.1 Bids initiaux

Puisque pour des raisons administratives et logistiques il nous aurait été trop long d'obtenir des données précises sur le plan de transport global de l'entreprise, nous avons procédé à partir des bids et routes régulières existants qui, selon leur définition, couvrent la partie stable de la demande.

Nous avons utilisé les données réelles d'une entreprise québécoise de camionnage en lots brisés pour l'expérimentation de notre méthode.

Un ensemble de 79 bids, tels qu'opérés durant l'année 1988 par cette entreprise de camionnage, nous a servi de base de données initiales.

Nous avons décomposé manuellement ces 79 bids en méta-segments. Avant d'examiner la procédure utilisée pour générer ces méta-segments, il est intéressant de regarder de près les 79 bids disponibles afin de distinguer les caractéristiques principales des routes qui les composent.

On peut répartir les bids en quatre (4) catégories principales:

1° Bids formés de routes régulières simples

La majorité (62%) des bids de notre ensemble de départ font parties de cette catégorie. Il s'agit de bids formés d'une route simple où chaque méta-segment qui la compose n'apparaît qu'une fois.

On distingue deux types de routes simples; le premier étant formé de routes simples à correspondance directe qui sont composées de seulement deux méta-segments un pour l'aller et l'autre (inversement identique) pour le retour;

ex: a) Montréal / Québec / Montréal

b) Chicoutimi / Trois-Rivières / Chicoutimi

On peut aussi retrouver des routes simples mixtes qui sont composées de plus de deux méta-segments non-identiques:

ex: a) Thorold /Toronto/ Cambridge / Toronto / Thorold

2° Bids formés de routes régulières étendues

Bien qu'on cherche à les réduire au minimum ces bids formés de routes étendues qui impliquent un coucher à l'extérieur de sa base d'origine pour le chauffeur, sont inévitables lorsqu'on doit couvrir des distances importantes.

Ces bids qui ne comptent que pour 5% de l'ensemble sont obligatoires en regard de la réglementation sur les heures de conduite (entre autres) lorsque le transporteur décide d'opérer une route étendue.

ex: a) Québec/Toronto (coucher)
Toronto / Québec

b) Montréal/Toronto (coucher)
Toronto / Montréal

Le chauffeur affecté à un de ces bids doit prendre une période de repos correspondant aux dispositions légales et syndicales entre l'aller et le retour. Habituellement, l'aller et le retour se font à une journée d'intervalle.

3° Bids formés de routes régulières répétitives

Environ 13% des bids appartiennent à cette catégorie. Il s'agit de bids formés de routes répétitives où apparaissent à plus d'une reprise un ou des méta-segments.

ex: a) Montréal/Ottawa / Montréal / Ottawa / Montréal

b) Montréal / Trois-Rivières / Montréal /Trois-Rivières /Montréal

Il s'agit souvent de routes simples qui, à cause de leur durée restreinte, peuvent ou doivent être répétées pour couvrir soit la demande, soit les temps minimums garantis aux chauffeurs.

4° Bids composés

Il s'agit de combinaisons de routes simples, étendues ou répétitives appelées elles aussi à répondre à la demande et aux contraintes légales et syndicales. Ces bids comptent pour 20% de l'ensemble, leurs compositions varient autant qu'il y a de combinaisons possibles avec les types de routes qu'elles soient simples à correspondance directe, simples mixtes, étendues ou répétitives.

ex: a) Chicoutimi / Montréal / Chicoutimi (2 jours)
Chicoutimi / Québec / Chicoutimi (3 jours)

Ces deux routes sont couvertes en alternance une chaque jour de la semaine, Montréal peut ainsi être «couvert» le mardi et le jeudi, et Québec le reste de la semaine.

ex: b) Montréal/ Ottawa / Montréal (2 jours)
Montréal / Ottawa / Montréal / Ottawa / Montréal (3 jours)

Il peut s'agir du même système d'alternance que pour l'exemple précédent à l'exception que pour trois journées de la semaine le chauffeur effectue une route double appartenant à la catégorie répétitive.

ex: c) Montréal / Toronto (coucher)
Toronto / Montréal (2 jours)

Montréal / Ottawa / Montréal / Ottawa /Montréal (1 journée)

Puisqu'il doit y avoir un coucher entre l'aller et le retour de Montréal et Toronto, on assignera une route quelconque (dans ce cas-ci répétitive) pour compléter la semaine de travail. L'aller

Montréal-Toronto pourrait s'effectuer le lundi et jeudi, et le retour le mardi et vendredi, laissant la route répétitive Montréal/Ottawa/Montréal/ Ottawa / Montréal pour le mercredi.

Ceci complète notre survol des catégories des routes régulières.

A partir du sous-ensemble de bids réels que nous avons utilisé pour notre expérimentation, nous obtenons les statistiques du tableau II.

Nous avons décomposé tous les bids et donc toutes les routes régulières de notre sous-ensemble en 54 méta-segments. Ceux-ci ont à leur tour été décomposés en 886 segments lorsque nous avons retrouvé et réparti les temps de départ des méta-segments de chaque route régulière, pour une période d'une semaine (5 jours), à partir des mouvements réels des tracteurs de l'entreprise.

TABLEAU II

Statistiques obtenues par la décomposition des bids initiaux

Nombre de bids totaux	**79**
- formés de routes simples	49 (62%)
- formés de routes étendues	4 (5%)
- formés de routes répétitives	10 (13%)
- composés	16 (20%)
Nombre de méta-segments	**54**
Nombre de segments (semaine de 5 jours)	**886**

Ainsi la route simple Montréal/Québec/Montréal qui est effectuée cinq (5) fois par semaine par quatre (4) chauffeurs a résulté en deux méta-segments: 1° **Montréal-Québec** et 2° **Québec-Montréal** et en quarante (40) segments avec temps de départ. Chaque route est

effectuée cinq fois par semaine par quatre chauffeurs donc 5 jours X 4 chauffeurs= 20 segments Montréal-Québec et 20 segments Québec-Montréal.

De la même manière, la route répétitive Montréal/Ottawa/Montréal/Ottawa/Montréal nous donne deux (2) méta-segments 1° **Montréal-Ottawa**, 2° **Ottawa-Montréal** et vingt (20) segments avec temps de départ (sur une semaine) pour chaque occurrence.

Un bid composé tel que celui de l'exemple 4a) nous donnerait 4 méta-segments et 10 segments par occurrence contre 2 méta-segments et 16 segments pour celui de l'exemple 4b) alors que l'exemple 4c) produit aussi 4 méta-segments mais seulement 8 segments.

Il est bon de noter que si nous additionnons les méta-segments et segments tirés des routes composées (exemple 4a), 4b), et 4c) nous obtiendrons bel et bien 34 segments avec temps de départ (10 + 16 + 8) mais seulement 8 méta-segments puisque les méta-segments des exemples 4b) et 4c) [Montréal-Ottawa et Ottawa-Montréal] ne doivent pas être additionnés étant identiques.

C'est donc par cette procédure de décomposition des routes régulières en méta-segments et segments que nous avons obtenus les 54 méta-segments et 886 segments qui ont servi à notre expérimentation (Tableau II).

Les résultats de cette expérimentation sont énoncés aux sections suivantes.

5.2 Premier essai

Pour les fins d'une première expérimentation nous avons utilisé les 54 méta-segments décomposés à partir des bids réels tels que démontrés à la section précédente.

La première activité du module d'établissement des routes étant de générer les segments (figure 4.1) nous avons donc ajouté aux méta-segments des heures de départ puisqu'on a déjà dit que le segment est un méta-segment auquel on a rajouté un horizon temporel c'est-à-dire une heure de départ.

Ce sont ces heures de départ qui nous permettent de différencier et d'identifier les segments dont la

fréquence (le nombre d'occurrences) est supérieur à un (1).

Comme on voit au tableau des fréquences (tableau III) près de 89% des méta-segments ont une fréquence de cinq et plus ce qui équivaut à une occurrence par jour au minimum si l'on se base sur une semaine de cinq jours. Plus des deux-tiers des méta-segments ont une occurrence minimum de deux fois par jour alors qu'un tiers se répète trois fois et plus. On retrouve même un peu plus de 7% des méta-segments qui ont une occurrence quotidienne de dix et plus.

Puisque nous établissons les routes journée par journée pour une période de planification d'une semaine (cinq jours) on prend pour hypothèse, si on ne sait rien de plus, qu'un méta-segment qui a une fréquence égale à cinq peut être converti en cinq segments répartis sur les cinq jours de la semaine soit un par jour. De même, un méta-segment avec une fréquence de quinze génère quinze segments à raison de trois par jour et ainsi de suite.

Nous avons été à même de constater à partir de la liste quotidienne des départs et de l'historique

TABLEAU III

Fréquence des méta-segments pour une semaine

fréq.	Nb de méta-seg	%	somme	résiduel	segments générés
0- 4	6	0.11	0.11	(0.89)	24
5- 9	12	0.22	0.33	(0.67)	66
10-14	18	0.33	0.66	(0.34)	184
15-19	2	0.04	0.7	(0.3)	30
20-24	4	0.07	0.77	(0.23)	88
25-29	2	0.04	0.81	(0.19)	50
30-34	0	0	0.81	(0.19)	0
35-39	2	0.04	0.85	(0.15)	72
40-44	2	0.04	0.89	(0.11)	80
45-49	2	0.04	0.93	(0.07)	90
50+	4	0.07	1	0	202
	54	**1**			**886**

des mouvements réels des tracteurs que cette répartition «égale» des fréquences sur cinq jours était réelle à quelques exceptions près.

Ainsi il est évident que les méta-segments étendus, c'est-à-dire qui nécessitent un coucher à l'extérieur tel que Montréal-Toronto ou Québec-Toronto, ne sont pas toujours effectués une fois par jour mais plutôt une fois aux deux jours. De même pour certains méta-segments reliant deux villes qui génèrent des volumes élevés ou à l'inverse peu élevés, il est possible, quoique peu fréquent, d'avoir plus de départs une journée qu'une autre.

C'est pourquoi, dans une première expérimentation, nous avons utilisé les segments et leurs heures de départs respectives, tels qu'indiqués (tels qu'effectués) dans l'historique des mouvements réels des tracteurs, afin de générer les routes régulières et d'en optimiser par la suite le choix.

Ce premier essai consistait donc à établir des routes légales à partir des mouvements réels de l'entreprise en termes de segments et d'heures de départ.

La génération et l'optimisation du choix des routes du modèle ont produit des résultats encourageants au niveau du fonctionnement général des procédures en termes de faisabilité, de temps d'exécution et de coûts.

Ainsi, nous avons obtenu pour les cinq journées de la semaine une liste de routes avec les heures de départ et d'arrivée de chacun des segments qui composent la route en plus de la durée totale de chaque route. Cette durée totale inclus bien sûr le temps de parcours, caractéristique de chaque segment, mais aussi les temps d'attente entre l'arrivée d'un segment et le départ du suivant. A ces temps, ont été rajoutés le temps de préparation initiale du véhicule au début d'une route, les pauses des chauffeurs et les temps alloués pour l'accrochage et le décrochage des remorques tel que prescrit par la convention collective.

L'addition de ces temps pour former le temps total de la route, était utilisée notamment pour respecter les exigences légales de temps de conduite et de service prescrites à la fois par la réglementation gouvernementale et le convention collective.

5.2.1 Résultats du premier essai

Suite à ce premier essai nous nous sommes donc retrouvés avec un ensemble «final» de routes couvrant tous les segments légaux à au moins une reprise. Ce ne sont pas tous les segments initiaux ayant été soumis à l'expérimentation qui ont été couverts par les routes mais seulement ceux qui répondaient aux contraintes et critères du modèle (segments légaux).

Comme on peut le voir au Tableau IV un petit sous-ensemble de segments fut écarté par le modèle (segments illégaux). Parmi ceux-ci se trouvaient les segments demandant un trop long temps de conduite ou de services, tel que le segment Québec-Toronto d'une durée de conduite de onze heures. Ce segment ne peut être effectué, aller-retour ou en combinaison avec d'autres segments, qu'à la condition de permettre les couchers à l'extérieur. Outre les segments qui nécessitent un coucher à l'extérieur, le sous-ensemble de segments illégaux pourrait éventuellement comprendre des segments sans correspondance légale, c'est-à-dire des segments qui ne peuvent composer une route dont l'origine et la destination finale sont la même tout en respectant les contraintes imposées. Aucun de ces

TABLEAU IV

Segments et routes du premier essai

Jour	Segments initiaux	segments illégaux	bids initiaux	routes optimisées	diff.
1	178	13	79	67	-12
2	176	12	79	63	-16
3	175	11	79	69	-10
4	187	9	79	69	-10
5	170	3	79	67	-12
	886	48	395	335	-60

segments n'apparaît cependant dans nos segments illégaux.

On peut donc dire que par l'exclusion des segments illégaux notre méthode confère une légalité certaine aux routes qu'elle génère.

5.2.2 L'optimisation des routes du premier essai

On peut observer au Tableau IV quelques données sur le nombre de routes obtenues suite à notre expérimentation. Ces données donnent une idée de l'ordre de grandeur et de la régularité du nombre de routes optimisées par le modèle.

Il faut noter que certaines routes de l'ensemble de départ (selon les données réelles obtenues pour fin d'expérimentation) ne respectent pas nos contraintes de temps de conduite et de service. Cela est dû aux heures de départ des segments utilisées qui incluent, dans certains cas, des temps d'attente prolongés aux noeuds ou entre ceux-ci. On peut mentionner les imprévus ou délais causés par la circulation, la température ou autres avaries mécaniques à titre d'exemple.

Pour chacune de ces routes «illégales» notre méthode en génère donc au minimum deux qui sont légales.

Ainsi, la route Montréal /Trois-Rivières /Montréal /Trois-Rivières /Montréal dont les heures de départ des segments sont 18H00, 24H00, 9H00 et 17H00, ce qui équivaut à un temps total de service d'environ 23 heures, à dû être soit scindée en deux ou, selon les autres segments à couvrir, en plusieurs routes respectant les contraintes établies.

On remarque que, malgré ce facteur d'augmentation du nombre de routes, notre méthode génère un ensemble de routes dont le nombre est inférieur à celui de départ sur la base d'une semaine (395 au départ contre 335 à l'optimisation).

Puisqu'il s'agit d'une solution optimale, il est donc possible d'en conclure que l'ensemble des routes obtenues par le modèle minimise les coûts en temps supplémentaires tout en maximisant l'utilisation des heures productives. Donc puisque le modèle ne génère aucune route qui nécessite un coucher à l'extérieur et qu'avec les heures supplémentaires et les heures productives ce sont les trois seuls facteurs qui affectent directement le coût des routes, on obtient une solution dont le coût total est inférieur au coût de l'ensemble initial de routes.

La section qui suit illustre les résultats obtenus en termes de coûts.

5.2.3 Les coûts des routes du premier essai

Il est évident que, puisque nous avons utilisé les heures de départ des mouvements réels, plusieurs des routes obtenues sont identiques à celles que la compagnie utilise et qui nous ont servies de données de base. Cependant, une partie non-négligeable des routes de notre modèle offre une utilisation meilleure des heures productives des chauffeurs. Ainsi à la route Montréal/Québec/Montréal le modèle a ajouté, au début et/ou à la fin selon le cas, le(s) segment(s) Trois-Rivières-Montréal, pour une utilisation accrue du temps de disponibilité du chauffeur. De telles modifications ont permis de diminuer le coût total de l'ensemble des routes par une meilleure utilisation des heures productives disponibles.

Comme on peut le voir au Tableau V le coût réel (voir calcul du coût des routes à la section d'optimisation du choix des routes au chapitre 4) qui est de $49,758.15 pour l'ensemble des 79 bids initiaux, diminue de $2,938.90 lorsqu'on le compare au coût réel total des routes optimisées qui est de $46,819.25.

TABLEAU V

Coûts des routes optimisées du premier essai

	Coût réel (en dollars)	Coût de non-productivité (en heures)
Bids initiaux	49,758.15$	770.67
Routes optimisées du premier essai		
Jour 1	9,284.86	112.57
Jour 2	8,768.79	105.56
Jour 3	9,705.47	134.67
Jour 4	9,609.30	119.99
Jour 5	9,450.83	113.72
	46,819.25$	586.51

Cette diminution de $2,938.90 du coût réel total, associé à une période de planification d'une semaine (5 jours), pourrait représenter une diminution de $152,822.80 sur une base annuelle (52 semaines).

Outre l'amélioration du coût réel total, on peut noter au tableau V la diminution du coût de non-productivité (coût non -associé à la conduite du véhicule). Ce coût alloué aux temps de préparation initiale du véhicule, d'accrochage/décrochage, de pauses et d'attente aux noeuds est passé de 770,67 à 586,51 heures.

Cette diminution de 184.16 heures par semaine du coût de non-productivité démontre une utilisation accrue des heures productives que les chauffeurs peuvent allouer à la conduite de leur véhicule.

On peut donc dire que, sur la base des coûts réels totaux et du coût de non-productivité, l'ensemble de routes optimisées représente une meilleure solution que celle constituée par les bids initiaux.

Une autre source de réduction des coûts peut être identifiée lorsqu'on considère le nombre de chauffeurs

requis par base et pour l'ensemble des routes. La section suivante explore cet aspect plus en détails.

5.2.4 Le balancement des routes par base

Les données du tableau VI servent à illustrer la notion de balancement des routes (et chauffeurs) associées à une base d'opération particulière.

L'origine d'une route, identifiée par son segment de départ, détermine la base d'opération à partir de laquelle on doit affecter un chauffeur à cette route. Ainsi le nombre de routes ayant pour origine la même base d'opération nous donne le nombre de chauffeurs de chaque base nécessaires pour couvrir les routes régulières.

Comme on peut le constater au tableau VI la répartition des départs et chauffeurs par base d'opération est sensiblement la même pour neuf des treize bases qui ont servis à l'expérimentation. Les bases où on dénote des variations plus importantes sont celles où s'effectuent le plus grand nombre de départs hebdomadaires (ce qui est le cas des bases d'opérations F et I) ou celles qui se situent géographiquement entre

TABLEAU VI

Nombre de départs et de chauffeurs par base pour le premier essai

Base	Dep/sem	Dep/sem	Diff.	Nb.chauf.	Nb.Chauf.	Diff.
A	5	5	0	1	1	0
B	10	10	0	2	2	0
C	5	10	+5	1	2	+1
D	30	27	-3	6	6	0
E	50	43	-7	10	9	-1
F	95*	82	-13	21	17	-4
G	5*	11	+6	1	3	+2
H	15	15	0	3	3	0
I	47*	15	-32	10	3	-7
J	25	25	0	5	5	0
K	67*	61	6	14	13	-1
L	15	30	+15	3	6	+3
M	10	1	-9	2	1	-1
	379	335	-44	79	71	-8

* Certaines de ces routes font partie de bids composés

les bases principales qui génèrent la majorité des marchandises à transporter (notamment les bases G et L).

Il est donc normal que ce soit ces bases qui subissent le plus de modifications puisqu'elles offrent de plus grandes possibilités d'agencements de segments et de routes.

A titre d'exemple plusieurs segments qui formaient les routes dont le départ était attribué aux bases F et I ont été regroupés différemment pour former des routes maintenant affectées à la base L.

Les routes Québec/Montréal/Québec et Québec/Trois-Rivières/Québec de la base I ont été combinées pour former la route Trois-Rivières/Québec/Montréal/Québec/Trois-Rivières dont le départ s'effectue maintenant à la base L de Trois-Rivières.

Ce type de modification constitue la grande majorité des changements du nombre de départ par base et total. En plus de diminuer le nombre total de routes par la combinaison de deux routes, un changement pareil

entraîne la réaffectation des départs à des bases différentes.

On peut voir que le tableau VI fait aussi état de variations du nombre de chauffeurs requis. Le nombre de chauffeurs associés au modèle est établi en fonction du nombre de départs hebdomadaires tel qu'établi par le modèle. Pour chaque sous-ensemble de cinq routes on alloue un chauffeur à la base (les cinq routes correspondent aux cinq jours de la semaine), ce qui nous donne 71 chauffeurs au total lorsque les routes et les bases sont prises individuellement.

Cela fait donc huit chauffeurs de moins qu'avec la situation réelle. Cependant, il est plus juste de calculer le nombre de chauffeurs requis en fonction du total des routes de toutes les bases puisqu'il serait étonnant que l'on alloue par exemple trois chauffeurs pour couvrir les onze routes de la base G. Lors du choix final des routes on fera en sorte de déplacer ce onzième départ vers une autre base pour éviter de maintenir un chauffeur à la base G pour une seule route (un seul départ par semaine).

Donc à partir des 335 départs du modèle on aurait plutôt 67 chauffeurs, en divisant ces 335 départs par 5, puisqu'un chauffeur effectue une route par jour pendant cinq jours. Si on veut comparer sur ces critères équivalents alors on doit conclure que notre modèle offre une solution qui fait appel à douze chauffeurs de moins, au minimum, que pour la solution réelle.

Il s'agit en effet d'un minimum puisque lors de la réunion des routes, pour former des bids qui seront affectés aux chauffeurs, il est possible que l'on retrouve des bids composés, ce qui diminuerait par le fait même le nombre de chauffeurs requis.

Il faut noter que le nombre de départs réels au tableau VI est de 379 et non 395 (79 bids initiaux multipliés par cinq jours) puisque certaines des routes qui forment les bids, dont les routes étendues, ne sont pas effectuées chaque jour de la semaine.

5.3 Conclusions du premier essai

Ce premier essai peut être interprété comme une tentative de validation de notre méthode puisqu'il procédait à partir des mêmes segments et heures de départ

que ceux de la «solution initiale réelle» de l'entreprise.

Bien que les résultats obtenus soient semblables à ceux de l'entreprise, en ce qui a trait à plusieurs routes, on a pu noter des améliorations aux niveaux de la légalité des routes, de l'utilisation des heures productives, du coût réel total, du coût de non-productivité et du nombre de chauffeurs requis.

Ce premier essai nous laisse supposer qu'un deuxième essai, où seuls les méta-segments de départ et leur fréquence respective seraient fournis par l'entreprise, permettrait de générer une solution à un coût encore moindre. C'est ce que nous avons vérifié et ce deuxième essai est décrit dans la prochaine section.

5.4 Deuxième essai

Ce deuxième essai repose sur l'hypothèse que si on alloue les temps de départ aux segments nous-mêmes, selon une procédure qu'on verra plus loin, on peut être en mesure de générer de meilleures routes. Il serait

ainsi possible de diminuer le coût réel total et le coût de non-productivité de l'ensemble des routes optimisées par la méthode.

Alors que dans notre premier essai nous avons utilisé les heures de départ réelles des segments nous avons, pour ce deuxième essai, utilisé une procédure de détermination des heures de départ pour chaque segment.

Selon la fréquence associée quotidiennement à chacun des 54 méta-segments nous avons réparti les heures de départ des segments correspondants, entre le temps le plus tôt et le temps le plus tard de départ, pour que les camions arrivent à leur destination dans les délais permis.

La procédure que nous avons utilisée détermine pour chacun des 54 méta-segments initiaux une heure de départ minimale, t min, et une heure de départ maximale, t max, selon la durée du méta-segment, pour que les camions arrivent à leur destination avant la fermeture des quais de chargement et déchargement.

Les trois étapes de la procédure de génération des temps de départ consistent à:

(i) déterminer pour chaque paire de terminus pour laquelle un méta-segment existe, des bornes inférieure et supérieure sur les temps de départ, afin qu'une remorque soit prête pour le départ le plus tôt et afin d'assurer pour le départ le plus tardif une arrivée à destination avant la fermeture des quais de chargement et déchargement;

(ii) distribuer uniformément entre ces deux bornes les départs des méta-segments sans correspondance directe (c'est-à-dire, pour lesquels il n'existe pas de méta-segment identique en sens inverse);

(iii) diviser en deux l'intervalle des départs pour les méta-segments en correspondance directe, et distribuer uniformément

les départs dans un sens sur une des deux moitié et les départs dans l'autre sens sur la deuxième moitié.

A titre d'exemple un méta-segment Montréal-Québec sans correspondance directe se verrait attribuer un départ à 22H00 lorsque t min = 20H00 et t max = 24H00 (comme indiqué en (ii)).

Un méta-segment Montréal-Québec, qui aurait une correspondance directe Québec-Montréal, verrait son départ fixe à 21H00 alors que le départ du méta-segment Québec-Montréal serait lui-même fixé à 23H00 (comme indiqué en (iii)).

Les résultats obtenus, à partir de nos 54 méta-segments initiaux et des heures déterminées par la procédure décrite ci-haut se sont avérés meilleurs que ceux de notre premier essai et donc de la solution initiale réelle. Ces résultats sont exposés et analysés dans les sections suivantes. Des comparaisons avec la solution réelle et les résultats du premier essai

y sont aussi établies.

5.5 Résultats du deuxième essai

Tout comme nous l'avons fait pour les routes du premier essai le tableau VII montre le nombre de routes optimisées pour chacun des cinq jours de notre période de planification.

On remarque que le nombre de segments illégaux ne varie pas entre nos deux essais, il s'agit en fait des mêmes 48 segments dans les deux cas, soit ceux qui ont un temps de conduite trop long pour permettre le retour, dans la même journée, à la base d'origine.

Là où on remarque une différence entre les deux essais c'est dans le nombre de routes de l'ensemble solution. Le deuxième essai, avec ses 330 routes, améliore de cinq le nombre de routes obtenues à notre premier essai.

La section suivante démontre les effets de cette amélioration sur le coût réel de l'ensemble de routes et sur son coût de non-productivité.

TABLEAU VII

Segments et routes du deuxième essai

Jour	Bids initiaux	Routes 1e essai	Routes 2e essai	Segments illégaux (1e et 2e essai)
1	79	67	64	13
2	79	63	63	12
3	79	69	66	11
4	79	69	69	9
5	79	67	68	3
	395	335	330	48

5.5.1 Les coûts des routes du deuxième essai

Les mêmes calculs, du coût réel et du coût de non-productivité, que lors de notre premier essai indiquent une diminution additionnelle des coûts de notre nouvel ensemble de routes optimisées (tableau VIII).

Par comparaison au premier essai on note une diminution du coût réel de 645.66$ par semaine ou 33,574.32$ annuellement alors que par rapport à la solution réelle il s'agit d'une baisse de 3,584.56$ par semaine ou 186,397.12$ pour une année de 52 semaines.

Le coût de non-productivité passé de 586.51$ à 569.91$ heures, entre le premier et le deuxième essai, pour une baisse de 16.6 heures par semaine ou 863.2 heures par année. Si on le compare à la solution réelle qui est de 770.67 heures il s'agit d'une diminution de 200.76 heures par semaine et de 10,439.52 heures par année.

On voit donc que l'hypothèse de base de ce deuxième essai est vérifiée et que le fait d'allouer nous-même les temps de départ aux segments permet d'améliorer

TABLEAU VIII

Coûts des routes optimisées des deux essais

	coût réel (en $)	coût de non-productivité (en heures)
Bids initiaux	**$49,758.15**	**770.67**
Optimisation:		
premier essai		
Jour 1	9,284.86	112.57
Jour 2	8,768.79	105.56
Jour 3	9,705.47	134.67
Jour 4	9,609.30	119.99
Jour 5	9,450.83	113.72
	$46,819.25	**586.51**
Deuxième essai		
Jour I	8,992.67	110.41
Jour 2	8,696.28	107.73
Jour 3	9,208.02	113.63
Jour 4	9,685.60	119.08
Jour 5	9,591.02	119.06
	$46,173.59	**569.91**

le coût réel et de non-productivité de l'ensemble de routes optimisées.

Il est toutefois important de préciser que les coûts de nos deux essais ne peuvent être comparés directement à celui de la solution réelle sans apporter certaines nuances. Les coûts de nos deux essais ne comprennent effectivement pas les coûts des routes étendues, compris dans le coût de la solution réelle, puisque les segments qui nécessitent un coucher à l'extérieur de la base du chauffeur ont été rejetés (segments illégaux). Cependant, comme on peut le voir au Tableau VII il s'agit d'un nombre restreint de segments et ceux-ci ne pourront plus être opérés en raison de la nouvelle réglementation.

Afin de procéder à une juste comparaison, nous avons calculé la part du coût de non-productivité associé aux segments illégaux. Puisque les segments illégaux sont les mêmes pour le premier et le deuxième essai, nous avons calculé leur coût de non-productivité et l'avons additionné à celui des deux essais, tel qu'indiqué au tableau IX.

TABLEAU IX

Coûts réajustés des deux essais

	Coût de non-produc. total	Coût de non-produc. des segments illégaux	Coût réajusté
Bids initiaux	770.67	-----	770.67
Premier essai	586.51	95.68	682.19
Deuxième essai	569.91	95.68	665.59

On voit que, malgré l'ajout du coût de non-productivité des segments illégaux, l'amélioration est toujours présente. Le premier essai démontre une diminution de 88,48 heures pour une semaine ou 4,600.96 heures pour une année alors qu'avec le deuxième essai il s'agit de 105.08 heures par semaine ou 5,464.16 heures annuellement.

Cette diminution du coût de non-productivité

équivaut au temps de travail de deux chauffeurs (105.08 heures divisées par 50 heures ou cinq jours de 10 heures de travail), ce qui représente pour l'entreprise un gain potentiel intéressant.

5.5.2 Balancement des routes par base

Comme l'indiquent les tableaux X et XI le nombre de départ hebdomadaire par base a subi de nombreuses modifications dans ce deuxième essai.

On remarque la «création» de cinq nouvelles bases (N,O,P,Q,R) qui n'apparaissaient pas dans la solution réelle ou dans celle de notre premier essai. Ces bases faisaient toutefois parties des noeuds intermédiaires de ces deux solutions.

Pour illustrer ce qui a provoqué la création de ces bases, nous utiliserons les segments Toronto-Hamilton et Hamilton-Toronto.

Dans la solution réelle et dans celle du premier essai une route Toronto/Hamilton/Toronto fut créée à partir de ces deux segments. Cette route fut alors comptabilisée comme un départ pour la base de Toronto.

TABLEAU X

Nombre de départs et de chauffeurs par base pour le deuxième essai

BASE	DEP/SEM RÉEL	DEP/SEM 2e essai	DIFF.	NB CHAUF. RÉEL	NB CHAUF. 2e essai	DIFF.
A	5	5	0	1	1	0
B	10	10	0	2	2	0
C	5	86	+81	1	18	+17
D	30	27	-3	6	6	0
E	50	65	+15	10	13	+3
F	95**	60	-35	21	12	-9
G	5**	10	+5	1	2	+1
H	15	5	-10	3	1	-2
I	47**	10	-37	10	2	-8
J	25	10	-15	5	2	-3
K	67**	0	-67	14	0	-14
L	15	0	-15	3	0	-3
M	10	8	-2	2	2	0
N*	0	5	+5	0	1	+1
O*	0	5	+5	0	1	+1
P*	0	5	+5	0	1	+1
Q*	0	18	+18	0	4	+4
R*	0	1	+1	0	1	+1
	379	**330**	**-49**	**79**	**69**	**-10**

* Ces bases n'apparaissent pas dans la solution réelle comme base de départ mais comme noeud intermédiaire.

** Certaines de ces routes font partie de bids composés.

TABLEAU XI

Nombre de départs et de chauffeurs par base pour les deux essais

BASE	DEP/SEM RÉEL	DÉP/SEM le Essai	DEP/SEM 2 essai	NB CHAUF RÉEL	NB CHAUF le essai	NB CHAUF 2 essai
A	5	5	5	1	1	1
B	10	10	10	2	2	2
C	5	10	86	1	2	18
D	30	27	27	6	6	6
E	50	43	65	10	9	13
F	95**	82	60	21	17	12
G	5**	11	10	1	3	2
H	15	15	5	3	3	1
I	47**	15	10	10	3	2
J	25	25	10	5	5	2
K	67**	61	0	14	13	0
L	15	30	0	3	6	0
M	10	1	8	2	1	2
N*	0	0	5	0	0	1
O*	0	0	5	0	0	1
P*	0	0	5	0	0	1
Q*	0	0	18	0	0	4
R*	0	0	1	0	0	1
	379	**335**	**330**	**79**	**71**	**69**

* Ces bases n'apparaissent pas dans la solution réelle ni dans le premier essai comme base de départ mais comme noeud intermédiaire.

** Certaines de ces routes font partie de bids composés.

Dans le deuxième essai c'est plutôt la route Hamilton/Toronto/Hamilton qui fut retenue. Le départ fut donc attribué à la base de Hamilton qui n'apparraissait pas dans la solution réelle ni dans celle du premier essai. C'est ainsi qu'ont été créées les cinq «nouvelles» bases du deuxième essai.

Les 34 départs attribués à ces cinq bases expliquent donc une partie des diminutions du nombre de départ de certaines autres dont les bases D,H,J et M.

Il faut mentionner que bien qu'elles ne soient que des noeuds intermédiaires dans notre solution de départ réelle ces cinq «nouvelles» bases ne constituent pas un obstacle à l'implantation de la solution obtenue dans ce deuxième essai. L'entreprise d'où proviennent nos données opère déjà ces bases pour la partie variable de la demande. Il n'y a donc pas de répercussions négatives entraînées par l'ajout de ces bases pour couvrir les routes de la partie stable de la demande si ce n'est qu'on devra affecter des chauffeurs différents à ces routes.

Outre les modifications apportées par ces nouvelles bases, on peut remarquer au Tableau X que le nombre

total de départ du deuxième essai a diminué de 49 par rapport au nombre de départ de la solution réelle. Les segments qui composaient ces 49 routes ont donc été combinés à d'autres segments pour former de meilleures routes. C'est notamment ce qui s'est produit avec les segments qui formaient les routes des bases F (Montréal) et L (Trois-Rivières). Les routes Montréal /Trois-Rivières/Montréal et Trois-Rivières /Montréal /Trois-Rivières ont été combinées pour ne former que la route Montréal /Trois-Rivières /Montréal /Trois-Rivières /Montréal.

Le fait d'allouer nous-mêmes les heures de départ aux segments a permis de créer quelques-unes de ces routes qui font une meilleure utilisation des heures productives et que notre premier essai ne pouvait produire à partir des heures réelles données.

Pour ce qui est des autres bases du tableau X on peut voir que les bases C, E et G totalisent 101 départs supplémentaires. Ces départs proviennent principalement des 104 départs «perdus» par les bases I et K. On peut prendre pour exemple certaines des routes de la base de Toronto (K) telle que la route Toronto/Brockville/Toronto qui est devenue une route

Brockville/Toronto/Brockville maintenant attribuée à la base de Brockville (C).

Des modifications de ce genre se sont produites pour la majorité des départs des bases C,E,G, I et K qui ont été ajoutées ou déduites au total de notre deuxième essai.

Maintenant que nous avons expliqué les changements survenus au niveau des routes du deuxième essai, nous pouvons comparer cet essai avec la solution réelle en ce qui a trait au nombre de chauffeurs requis.

Tout comme pour le premier essai un chauffeur est affecté à une base pour chaque ensemble de cinq départs effectués à celle-ci. Ceci nous donne 69 chauffeurs soit 10 de moins que pour la solution réelle (Tableau XI). Comme nous l'avons fait dans le premier essai on tiendra plutôt compte du nombre total de routes pour calculer le nombre de chauffeurs puisqu'il serait étonnant qu'on affecte un chauffeur à la base R, par exemple, pour une seule route.

Pour 330 départs, il nous faut donc 66 chauffeurs plutôt que 79 dans la solution réelle. Puisque de ces

79 chauffeurs six étaient affectés aux routes étendues composées des segments illégaux, rejetés par notre méthode, nous avons donc un gain de sept chauffeurs (Tableau XII). Avec les données de notre premier essai, on obtient un gain de six chauffeurs.

Cette diminution du nombre de chauffeurs peut s'avérer fort profitable pour notre entreprise de camionnage. Si on prend pour hypothèse qu'un chauffeur travaille 50 heures par semaine, cela équivaut à 2,600 heures de temps rémunérées annuellement qui peuvent être éliminées ou utilisées ailleurs et ce, pour chaque chauffeur. Ces heures pourraient éventuellement être utilisées pour couvrir la partie variable de la demande ou pour des activités de cueillette et livraison de la marchandise.

Tableau XII

Nombre de chauffeurs requis réajusté

	Nombre de chauffeurs	Chauffeurs des segments illégaux	Nb chauffeurs requis
Bids initiaux	79	6	73
Premier essai	67	0	67
Deuxième essai	66	0	66

5.6 Conclusion de l'expérimentation

Ce deuxième essai démontre l'utilité de notre procédure de détermination des heures de départ des segments. Il ressort de cet essai que, lorsqu'on associe à la méthode utilisée une procédure de détermination des heures de départ des segments, les résultats obtenus sont encore meilleurs qu'avec les heures réelles utilisées pour notre premier essai.

Que ce soit au niveau de l'amélioration des coûts réels, de l'utilisation accrue des heures productives, du rejet minimum des segments illégaux ou du nombre de chauffeurs requis, les résultats de ce deuxième essai semblent encourageants.

Il est permis de penser qu'à partir des résultats obtenus avec nos deux essais, la méthode utilisée répond bien aux besoins des entreprises de camionnage.

Suite à la résolution du problème d'établissement des routes et horaires réguliers le transporteur devra procéder à l'affectation des routes régulières obtenues. L'appendice A, que l'on retrouve annexé à ce mémoire, décrit brièvement les possibilités qui s'offrent aux

gestionnaires pour affecter ces routes aux chauffeurs qui couvrent la partie stable de la demande de transport de l'entreprise.

CONCLUSION

Dans son sommaire des engagements du colloque-consultation sur le transport routier des marchandises, le Ministère des Transports du Québec (1982) avance le principe:

> «Qu'il importe de viser une plus grande productivité des transporteurs publics par une utilisation plus rationnelle des équipements dans un contexte d'optimisation des ressources. Il y a lieu d'améliorer le service aux expéditeurs, notamment à l'égard de la rapidité et de la flexibilité des mouvements».

Nous croyons que ce mémoire s'inscrit dans cette ligne de pensée et qu'il apporte et propose des moyens susceptibles d'améliorer la situation actuelle des transporteurs routiers.

On a démontré que la méthode d'établissement des routes mise à l'essai dans ce mémoire donne de bons résultats.

Il s'agit bien sûr de résultats sommaires mais tout nous porte à croire qu'en utilisant des données de base brutes, c'est-à-dire des données provenant directement de la demande des marchés et du plan de transport, on obtiendrait des résultats tout au moins aussi bons que ceux existants. Il faut aussi mentionner la flexibilité qu'apporte un tel outil dans la gestion des opérations autant au niveau stratégique que tactique et opérationnel.

Comme on l'a vu au premier chapitre, l'industrie du transport routier des marchandises subit de façon plutôt marquée les tribulations de l'économie et des activités politiques.

Ainsi face à la réglementation récente sur les heures de conduite, exposée à la section 4.2.1 le transporteur devra faire appel à plus de chauffeurs pour couvrir des routes plus courtes donc plus nombreuses. Il n'est pas nécessaire d'élaborer sur l'importance d'une méthodologie permettant de générer plusieurs scénarios de solutions possibles mais disons simplement que celle proposée ici mérite qu'on s'y arrête.

De plus, on doit se rappeler que les camionneurs ont été soustraits de l'entente sur le libre-échange ce qui laisse la porte ouverte aux transporteurs étrangers alors que l'inverse n'est pas vrai pour une grande partie du territoire américain. En effet, plus de quarante états américains sont protégés par des règlements et autres barrières. Ceci obligera les transporteurs d'ici à tirer avantages et à exploiter les sources potentielles de diminution des coûts et d'amélioration de la qualité des services offerts.

Ce mémoire dévoile certaines possibilités et donne des pistes quant aux directions à suivre. Il faut d'ailleurs mentionner que les travaux du projet global, duquel provient la méthode expérimentée dans ce mémoire, se poursuivent en vue d'obtenir un véritable système d'aide à la prise de décisions pour les entreprises de transport routier des marchandises.

Ce mémoire ne fait état que d'une partie des travaux de ce projet global mais les résultats, avantages et possibilités nous semblent à la fois encourageants et pertinents.

Outre son utilisation pour des fins de planification tactique d'établissement des routes la méthode expérimentée ici pourrait éventuellement être utilisée dans la planification opérationnelle à très court terme ou encore dans la planification stratégique des entreprises de transport routier.

L'extension naturelle et logique de l'utilisation de cet outil se trouve dans la planification à très court terme des activités de répartition des équipements et chauffeurs associés au 20% de la demande non-régulière. Pour cette partie de la demande difficilement prévisible les répartiteurs doivent, selon leur expérience, agencer les voyages en fonction des disponibilités, délais requis et autres exigences reliées à chaque chargement.

Souvent le répartiteur n'a connaissance des détails que lorsque les documents d'expédition arrivent sur son bureau. Il doit alors tenir compte des possibilités restantes sur sa grille de disponibilités complétée à la main chaque fois qu'un nouveau voyage s'ajoute. Puisqu'il s'agit d'activités en temps réel, on peut supposer que l'utilisation d'une méthode d'établissement des routes, en temps réel, ne pourrait qu'améliorer le

processus de répartition par l'analyse d'un plus grand nombre de possibilités et ce dans des temps raisonnables. Un tel outil permettrait aussi en cas d'imprévus (retards dans les livraisons, bris mécaniques) de réagir promptement en modifiant, selon la situation, les routes restantes prévues.

Il existe également des possibilités au niveau des décisions stratégiques que l'on pense, par exemple, aux décisions d'ouverture et de fermeture de terminus. Dans le cas de fusions, d'acquisitions et de changements dans les réseaux de service, l'utilisation de cet outil pourrait permettre d'en déterminer les répercussions sur les opérations routières.

Finalement, mentionnons l'utilisation de cet outil comme moyen de négociation ou d'analyse de scénarios dans le cadre de négociations entreprise-syndicat et de tout autre changement possible dans l'environnement des entreprises de transport routier des marchandises.

Pour toutes ces raisons, le modèle présenté et expérimenté dans ce mémoire semble voué à un bel avenir.

REMERCIEMENTS

Il m'apparaît important de souligner ici l'apport de ceux qui m'ont dirigé tout au long de mes études de maîtrise et plus particulièrement dans l'élaboration et la réalisation du présent mémoire.

Je tiens donc à remercier mes deux co-directeurs de maîtrise Messieurs Téodor Crainic et Jacques Roy pour leur aide pertinente et leur disponibilité soutenue.

On ne peut passer sous silence la participation des membres d'entreprise de transport routier qui ont bien voulu, malgré leurs horaires chargés, me faire partager une partie de leur réalité quotidienne. Sans les nommer, ils sauront se reconnaître, je les remercie.

Je remercie Messieurs Yves Norbert et Jacques Picard pour leurs commentaires pertinents en tant que membres du comité d'évaluation de ce mémoire.

Je suis également reconnaissant envers l'université du Québec à Montréal pour son appui financier sous forme

de bourses ou autres.

Également pour ses bourses de recherche, je remercie le Centre de Recherches sur les Transports (CRT) qui m'a aussi donné accès à ses ressources informatiques et professionnelles.

Merci aussi à Lucie Bibeau pour son aide au niveau informatique.

Finalement, je veux remercier Francine Gaudreault qui a dactylographié ce travail et L. Sanpef pour les heures passées à le lire et relire.

BIBLIOGRAPHIE

ARABEYRE, J.-P, FEARNLEY, J., STEIGER, F., TEATHER, W.,
«The airline crew Scheduling problem: A survey», Transportation Science 3, 1969, pp. 140-163.

BAKER, E.,
«Efficient heuristic Solution for the Airline Crew Scheduling problem», D.B.A., Thesis, University of Maryland, College park, Maryland, U.S.A. 1979.

BAKER, E., BODIN, L.D., FINNEGAN, W. ET PONDER, R.,
«Efficient Heuristic Solutions to an Airline crew scheduling problem», AIIE Transactions 11, 1979, p.2

BAKER, E., BODIN, L.D. et FISHER, M.,
«The development and Implementation of a heuristic set covering Based System for air crew scheduling», working paper 80-015, University of Maryland, College Park, Maryland, U.S.A., 1980.

BALAS, E. et HO, A.,
«Set covering Algorithms Using cutting planes, Heuristic ans Subgradient Optimization: A computational study», Mathematical programming 12, 1980, pp. 37-60.

BARKER, H., SHARON, E.M. et SEN, D.K.
«From flight flow and cost patterns to greater profitability and Better service for a motor carrier», Interfaces 11, 1981, p.6.

BIGRAS, Y.
«L'industrie québécoise du camionnage et le transport en lots brisés», dans «Devancer le présent» communications du 23e congrès de l'A.Q.T.R. 1988, pp. 407-432.

BURNS, R.N.,
«Manpower Scheduling with variable demands andalternate weekends off», INFOR, Vol. 16, 1978, pp. 101-111.

COUILLARD, J.,
«Un système d'aide à la planification d'une flotte de véhicules dans l'industrie du transport routier des marchandises», Thèse de doctorat en administration, Université Laval, Document 87-115, 1987.

CRAINIC, T.G.,
«Le problème des horaires d'équipages d'une compagnie d'aviation», M.S.C. Thesis, Université de Montréal, Centre de Recherche sur les transports, Publication #122, 1978.

CRAINIC, T.G., DELORME, L., ROY, J.
«Le problème de l'établissement des routes-horaires dans le transport routier de charges partielles» Document de travail 20-89, CRG, UQAM, 1989.

CRAINIC, T.G., ROUSSEAU, J-M.,
«The Column Generation Principle and the Airline Crew scheduling problem», Document de travail 27-86, Centre de Recherche en Gestion, U.Q.A.M., 1986.

DELORME, J.,
«Contribution à la résolution du problème de recouvrement: méthodes de troncatures», Thèse, Docteur Ingénieur, Université Paris VI, Paris, 1974.

DELORME, L., CRAINIC, T.G. ROY, J.,
«Une nouvelle approche pour la planification des opérations de transport des marchandises», Centre de Recherche sur les Transports, publication #444, Montréal, 1986.

DIJKSTRA, W.E.
«Numerische Mathematik» vol. 1, 1959, pp. 269-271.

LAPORTE, G., NOBERT, Y., BIRON, J.,
«Rotating Schedules», European Journal of operational research, Vol. 4, 1980, pp. 24-30.

LAVOIE, S., MINOUX, M., ODIER, E.,
«A new approach of crew pairing problems by columns Generation and application to air transports», Université de Montréal, Centre de Recherche sur les transports, publication #439, 1985.

MARSTEN, R.,
«An Algorithm for large set partitioning problem», Management science 20, 1974.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC,
«Sommaire des engagements du Colloque Consultation sur le transport routier des marchandises», Bibliothèque Nationale du Québec, 3e trimestre, 1982.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC,
«La Déréglementation partielle américaine de l'industrie du camionnage public: présentation des faits, considérations analytiques et répercussions éventuelles sur le Québec», Bibliothèque Nationale du Québec, 3e trimestre, 1984.

NOBERT, Y., ET LAPORTE, G.,
«La construction d'horaires de travail», document de travail, GERAD, 1985.

POWELL, W.R., ET SHEFFI, Y.,
«The load Planning problem of LTL Motor Carriers: problem description and a proposed solution approach», Transportation research 17A, 1983, pp. 471-480.

RAYMOND, M.-P., ROUSSEAU, J.-M.,
«Horaire de travail du personnel infirmier» Comptes rendus du Congrès de L'ASAC, G. Laporte, éd., Vol. 1, 1980, pp. 66-75.

ROUSSEAU, J.M.,
«Crew scheduling Methods in the operation and planning of transportation systems», In «Transportation planning models», M.Florian, ed., North-Holland, 1984, pp.439-474.

ROY, J.,
«Un modèle de planification globale pour le transport routier des marchandises», Thèse de doctorat en Administration, École des H.E.C., Centre de Recherche sur les transports, Publication #402, Montréal, 1984.

RUBIN, J.,
«A technique for the solution of massive set covering problems with applications to Airline crew scheduling» Transportation science 7, 1973.

RUBIN, J.,
«A survey of techniques for airline crew scheduling», working paper, cambridge scientific Center, Cambridge, USA, 1975.

SALKIN, H.M.,
«Integer Programming», Addison-Wesley, 1975.

SEGAL, M.,
«The operator-scheduling problem: A network-flow approach», Operations REserach, vol. 22, 1974, pp.808-823

TRANSPORT CANADA
«Profil statistique de l'industrie du camionnage au Canada», Septembre 1987.

TREMOLIERES, R.,
«Le problème des roulements de quart pour des entreprises à feu continu», RAIRO, Vol. 10, 1976, pp.71-101.

APPENDICE A

Affectation des routes

Appendice A: Affectation des routes

Une fois les routes établies on peut procéder de diverses façons pour leur affectation. La pratique courante consiste à réunir les routes générées pour chaque journée afin de créer une semaine de travail pour le chauffeur qui aura à couvrir cet ensemble de routes. Dans la majorité des cas les routes ainsi assemblées occupent une grande proportion des heures productives qu'un chauffeur peut fournir en fonction toujours des contraintes légales et syndicales.

Toutefois, il est possible dans certains cas que des routes et semaines de travail conviennent mieux à certains chauffeurs qu'à d'autres pour des raisons personnelles. Dans ces circonstances et lorsque cela n'interfère pas avec les opérations du transporteur, il est possible de créer des agencements de routes qui répondent aux exigences voulues.

Cet aspect de l'affectation des routes ouvre la porte à plusieurs possibilités auxquelles le transporteur peut faire appel.

L'entreprise de transport pourrait donc afficher les routes établies sur une base quotidienne et laisser les chauffeurs entièrement libres d'organiser leur horaire. Dans ce cas et selon la convention des chauffeurs, chaque chauffeur intéressé à couvrir un ensemble de routes régulières aurait l'opportunité de choisir à sa guise son horaire hebdomadaire. Ce choix se ferait alors par ordre de séniorité. On imagine facilement que cette façon de procéder n'a rien d'idéal puisqu'en plus du risque de se retrouver avec des agencements de routes très disparates ce procédé risque de rendre le travail des répartiteurs plus ardu alors qu'un des objectifs est de le simplifier. On peut aussi supposer que les chauffeurs qui ont le moins d'ancienneté et qui se retrouvent devant un choix de routes peu intéressant seront tentés de refuser de couvrir les routes restantes.

Il semble donc plus logique que les routes quotidiennes soient agencées par les membres de Direction de l'entreprise, selon leurs exigences, avant d'être ensuite offertes sous forme de semaines de travail régulières. Le choix par les chauffeurs se fera alors toujours, par ancienneté mais il offre plus de

disponibilités d'équité pour les chauffeurs et d'efficacité pour l'entreprise.

De cette façon, il est possible d'agencer les routes de façon à ce qu'elles soient regroupées par région, par sous-ensemble de terminus ou encore par destination. Selon la situation et les prévisions il serait possible de regrouper des routes qui n'occuperaient qu'une partie des heures de services d'un ou de plusieurs chauffeurs afin d'avoir ce ou ces chauffeurs pour couvrir la partie irrégulière de la demande ou pour des activités de cueillette et de livraisons.

Quoiqu'il en soit et selon les exigences de l'entreprise, il serait possible par le biais de l'informatique d'agencer les routes quotidiennes établies par le modèle afin de pouvoir procéder à leur affectation. Cette activité constitue en fait le dernier module du projet exposé à la figure 2.2 soit l'affectation des routes ou «bids». Ce module sera éventuellement étudié de plus près mais puisque son élaboration dépend de l'utilisation et des exigences propres à chaque entreprise nous ne nous y attarderons pas plus.

Notons cependant qu'il pourrait s'agir de procédures d'agencements relativement peu complexes telles que celles utilisées dans le domaine de l'aviation (voir chapitre 3 pour références à ce sujet).